

OPS/CEPIS/PUB/99.34

Original: español

METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD EN SITIOS CONTAMINADOS

Fernando Díaz Barriga



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
División de Salud y Ambiente
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por: Agencia Alemana de Cooperación Técnica



Lima, 1999

PRÓLOGO

El documento ***Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados*** es un producto de la segunda etapa de la Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos, REPAMAR, la cual es una iniciativa regional para promover la minimización de residuos y el desarrollo económico sustentable, ejecutada por la OPS/CEPIS, con el apoyo del Gobierno de Alemania a través de la GTZ.

En América Latina todavía no existen infraestructuras suficientes para el manejo controlado de los residuos peligrosos. Por consiguiente, es común encontrar sitios donde se depositan los residuos de manera anómala. Estos sitios no controlados son fuentes de contaminación que representan riesgos para la salud pública, cuya reducción requiere de programas de restauración ambiental que resultan sumamente costosos. En este sentido, los gobiernos de la Región deben contar con una herramienta que les permita identificar los sitios de mayor riesgo para decidir cuáles deben atenderse. En una zona donde los recursos económicos son insuficientes y abundan los problemas sociales, la inversión monetaria destinada a los asuntos ambientales se debe dirigir sobre todo a los sitios que verdaderamente requieran una intervención. En consecuencia, la selección de los sitios destinados a la limpieza ambiental se debe realizar a través de un programa científico y sobre la base de una metodología objetiva.

A partir de este esquema, se desarrolló la “metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados”. Esta metodología es una adaptación de la desarrollada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades (ATSDR), perteneciente al Departamento de Salud de los Estados Unidos. Incluye también aspectos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos.

La primera versión fue elaborada por el doctor Fernando Díaz Barriga, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, y fue revisada en la ATSDR por el equipo del doctor Juan Reyes. Posteriormente, un comité de investigadores, reunidos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), analizó la segunda versión.

La colaboración de la ATSDR y de los miembros del comité de investigadores, enriqueció el documento al volcar ahí su experiencia y conocimientos. Durante las reuniones de análisis, en todo momento se mantuvo el espíritu de que esta metodología constituía un instrumento valioso para resolver problemas ambientales en América Latina.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Juan Reyes
Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades (ATSDR)
Departamento de Salud de los Estados Unidos

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México

Sistema de Investigación Miguel Hidalgo, México

Comité de Investigadores:
Dr. Volney de M. Câmara
Ing. Jacira A. Cancio
Ing. Sergio A. Caporali
Quim. María Luisa Castro de Esparza
Dr. Josino Costa Moreira
Dr. Fernando Díaz Barriga
Dr. Luiz A. Galvão
Dr. Enrique Paz
Dr. Alexandre Pessoa Da Silva

Dr. Germán Corey
Asesor en Epidemiología, CEPIS

Srta. Rosana Battifora
Área de Secretaría, CEPIS

ÍNDICE

	Página
Introducción	i
Capítulo 1 – Generación de un listado de sitios peligrosos	1
1. Esquema general	1
2. Grupo organizador.....	1
3. Categorías para la elaboración del listado	1
3.1 Minerometalurgia	2
3.2 Regiones agrícolas.....	2
3.3 Macroindustrias.....	2
3.4 Industria petrolera (incluida la extracción).....	2
3.5 Microindustria	2
3.6 Depósitos no controlados.....	3
3.7 Otros.....	3
4. Primera priorización.....	3
4.1 Ejemplo de generación de un listado de sitios. Caso San Luis Potosí, México.....	4
4.2 Obtención de listado	4
4.3 Primera priorización.....	5
5. Conclusión	5
Capítulo 2 – Inspección de sitios peligrosos	7
1. Visita al sitio.....	7
1.1 Descripción del sitio	7
1.2 Tipos de contaminantes	7
1.3 Puntos de exposición	7
2. Contaminación ambiental.....	8
2.1 Muestreo ambiental.....	8
2.2 Análisis ambiental.....	8
3. Selección de contaminantes críticos	10
4. Análisis preliminar de las rutas de exposición.....	11
4.1 Factores químicos que afectan el destino y transporte de los contaminantes.....	12
4.2 Factores del sitio de estudio que influyen en el destino y transporte de contaminantes	13
5. Estimación preliminar del riesgo.....	14
5.1 Identificación del contaminante	15
5.2 Análisis dosis-respuesta	15
5.3 Estimación de la exposición	16
5.4 Caracterización del riesgo.....	18
5.5 Factores asociados al riesgo.....	20
5.6 Análisis final	20
6. Conclusiones y recomendaciones.....	20
7. Calificación del sitio	20
Capítulo 3 – Evaluación de la exposición en sitios peligrosos	23
1. Antecedentes del sitio	23
1.1 Descripción del sitio	23
1.2 Historia del sitio	24
1.3 Información demográfica.....	25
1.4 Información geográfica.....	25
1.5 Datos microbiológicos.....	26
1.6 Visita al sitio	27

2. Contaminación ambiental.....	28
2.1 Muestreo	28
2.2 Análisis de laboratorio	29
2.3 Control de calidad	30
3. Selección de contaminantes críticos	31
3.1 Presencia en más de un medio	31
3.2 Interacción toxicológica con otros contaminantes	32
3.3 Carencia de información toxicológica sobre el contaminante.....	32
3.4 Preocupación social	32
4. Análisis de las rutas de exposición	32
5. Estimación del riesgo en la salud	34
5.1 Identificación del contaminante	34
5.2 Análisis dosis-respuesta.....	34
5.3 Estimación de la exposición	34
5.4 Caracterización del riesgo	35
6. Monitoreo biológico (biomarcadores de exposición).....	36
7. Monitoreo biológico (biomarcadores nutricionales)	38
8. Evaluación microbiológica total	39
9. Análisis de datos estadísticos de salud	40
9.1 Justificaciones para el análisis	40
9.2 Características de la fuente.....	40
9.3 Características de la población control.....	40
9.4 Resultados	40
10. Conclusiones y recomendaciones	41
10.1 Conclusiones.....	41
10.2 Recomendaciones.....	41
10.3 Acciones de salud pública	42
10.4 Comunicación del riesgo	42
11. Bibliografía	42

Anexo 1 – Priorización preliminar de sitios potencialmente contaminados con residuos peligrosos

Anexo 2 – Bases para la calificación de los sitios inspeccionados

Anexo 3 – Inspección de sitios peligrosos. Zona minera de Villa de la Paz, Matehuala

Anexo 4 – Evaluación de la exposición en sitios peligrosos. Zona minera de Villa de la Paz, Matehuala

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las industrias, el amplio manejo de agroquímicos en las actividades agrícolas y el crecimiento urbano en América Latina, fomentan una creciente producción de residuos peligrosos, los cuales ante la falta de programas paralelos para su manejo adecuado, causan graves episodios de contaminación ambiental.

Definiciones

El término “residuo peligroso” involucra la definición de residuo y el concepto de peligrosidad. Como residuo se define a los materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó. Es decir, los residuos peligrosos son los materiales que no tienen uso directo y se descartan en forma permanente.

En tanto, en el término “peligrosidad” la Organización Panamericana de la Salud engloba a las sustancias que por sus características físicas, químicas o infecciosas pueden: (1) causar un aumento de la mortalidad o un incremento de enfermedades graves irreversibles o reversibles que producen invalidez, o que pueden contribuir significativamente a ello. (2) plantear un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al medio ambiente, cuando son tratados, almacenados, transportados, eliminados o manejados en forma indebida. Por lo expuesto, los sitios, áreas o zonas contaminadas por residuos peligrosos se definen en este manual como “sitios peligrosos”.

Antecedentes de metodologías similares

El tipo de contaminación que se presenta en los sitios peligrosos es uno de los más complejos. Por lo general, esta contaminación ocurre por mezclas químicas (varios contaminantes), presentada en multimedios (varios medios ambientales) y que afecta a diversas comunidades (varios grupos poblacionales en riesgo). Es decir, la complejidad de la contaminación en los sitios peligrosos requiere de una metodología específica para su estudio. Sin embargo, el diseño de esta metodología, además de considerar las características propias de los sitios peligrosos, debe tomar en cuenta también las realidades de los países en desarrollo, tales como: falta de recursos humanos, escasez de laboratorios con programas de control de calidad, insuficiente información técnica sobre los sitios a estudiar y muchas veces desconocimiento total de la localización de sitios peligrosos.

Estados Unidos de Norteamérica es el país que ha marcado la pauta en el diseño de metodologías para el estudio de sitios peligrosos. Dos de ellas, complementarias entre sí, son las más populares; una metodología fue diseñada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) y la otra fue originada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública (ATSDR). La primera metodología estima el riesgo en salud basándose en datos ambientales del sitio y la segunda metodología evalúa el riesgo en salud, con fundamento en los datos ambientales y en los antecedentes de salud registrados en el área de influencia del sitio.

La aplicación exacta de los métodos de la EPA y de la ATSDR en América Latina presenta algunas dificultades, fundamentalmente por dos hechos que son el gran número de sitios que deben estudiarse y la escasez de recursos económicos para efectuar estudios tan detallados requeridos

en dichas metodologías. Por consiguiente, se plantea una alternativa en la que se adaptan los puntos más valiosos de los métodos estadounidenses a las condiciones y necesidades de los países de América Latina.

Objetivos y alcances

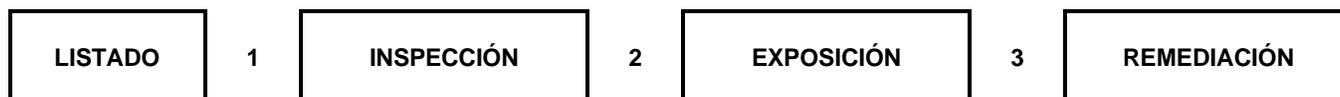
La metodología que se propone en este manual nace con dos objetivos importantes: (1) evaluar la peligrosidad de los sitios peligrosos y (2) establecer los mecanismos para que los gobiernos de la Región puedan tomar decisiones en materia de restauración de sitios, tomando como base especialmente los datos de salud.

Esta metodología se genera bajo una secuencia lógica de actividades, las que paulatinamente van resolviendo las interrogantes surgidas cuando se estudia un sitio contaminado.

Esquema de la metodología

En general la metodología propuesta cuenta con tres fases (Esquema 1): la obtención de un listado preliminar de sitios potencialmente contaminados, la inspección de los sitios listados y la evaluación de la exposición en aquellos sitios que como resultado de la inspección hayan sido considerados de alto riesgo.

Esquema 1. Fases de la Metodología de la OPS/OMS



(1) Priorización preliminar. (2) Calificación de los sitios al final de la fase de inspección. (3) Categorización de los sitios al final de la fase de evaluación de la exposición.

El listado es de suma importancia, ya que permite identificar como peligrosos a los sitios que normalmente pasan desapercibidos como tales, por ejemplo, los basureros municipales donde se depositan desechos industriales y los campos agrícolas donde se utilizan agroquímicos en exceso. Ahora bien, es importante hacer notar que el listado propuesto se aplica a los sitios potencialmente contaminados. Se enfatiza el término “potencialmente” ya que probablemente muchos de los sitios incluidos en el tipo de listas obtenidas con el método, no han sido estudiados con detalle. Por lo tanto, no podría plantearse anticipadamente nada definitivo en cuanto al riesgo asociado a ellos. Aunque no se conozca qué tan peligrosos son los sitios listados, se acepta este hecho dado que el listado puede ser útil para identificar los sitios verdaderamente peligrosos.

Comparación entre los métodos estadounidenses y el método de la OPS/OMS

En Estados Unidos, la caracterización de los sitios es responsabilidad de la EPA. De acuerdo con sus esquemas, los primeros listados se obtuvieron colectando la información de los sitios ya detectados. El contenido de estos listados se va incrementando cada día, sobre todo con base en las denuncias de la población civil. Según algunas fuentes, en los Estados Unidos existe un máximo de 439.000 sitios potencialmente peligrosos. Pero debido a lo limitado de los recursos económicos dedicados a la restauración, al descubrimiento del sitio le sigue una fase de inspección (Esquema 2). Esta fase denominada “evaluación preliminar e inspección del sitio”, es sumamente completa ya que implica el conocimiento total del sitio. Esto es, se recopila información con todos los antecedentes del sitio (geología, hidrología, climatología, demografía, etc.) y se analiza en conjunto con datos sobre la concentración de los contaminantes en la mayoría de los medios ambientales (aire, agua superficial, agua subterránea, suelo y alimentos). Los medios ambientales estudiados son los que se sospecha que están contaminados.

Esquema 2. Fases de la Metodología EPA



(NPL) Lista Nacional de Sitios Prioritarios.

En el método propuesto en este documento la fase de inspección no es tan completa como la descrita en los programas de Estados Unidos. No puede serlo por el gran número de sitios que merecen la inspección, además de los limitados recursos económicos y por la escasez de información básica sobre los sitios. Por consiguiente, se ha preferido diseñar una inspección rápida, económica pero confiable. En el método alternativo presentado en este manual, la inspección comprende el estudio sólo de las rutas de mayor importancia y en ellas se analizan solamente los contaminantes críticos.

En el método de la EPA, al final de la evaluación preliminar se procede a la priorización de los sitios. Esta priorización da lugar a la Lista Nacional de Prioridades (NPL, por sus siglas en inglés) y se realiza utilizando un complejo sistema de priorización comparativa de riesgos. Dicho sistema es difícil de aplicar en las condiciones de América Latina por la gran cantidad de datos requeridos. En el caso de los Estados Unidos, los sitios listados en la NPL son introducidos de inmediato a un programa cuyo fin es la restauración. Dicho programa comprende entre otros puntos: la estimación del riesgo, la obtención de mayor información ambiental (en caso de requerirse) y los estudios de factibilidad técnica y económica para la restauración. Se advierte el enorme costo económico que puede llegar a tener solamente la elaboración de un plan de restauración.

El método alternativo propone un ejercicio de calificación para después de la fase de inspección. Dicha calificación podría servir para priorizar los sitios, pero realmente se diseñó con el objetivo de darle a cada sitio un valor específico y para proceder de inmediato a ejercitar acciones. El valor de la calificación permite colocar a los sitios inspeccionados en tres niveles preliminares de riesgo: bajo, alto y muy alto. Así, se proponen tres acciones diferentes para ellos: (1) vigilancia ambiental para los sitios de bajo riesgo; (2) evaluación de exposición para los sitios de alto riesgo; y (3) evaluación de exposición y restauración inmediata para los sitios de muy alto riesgo. La decisión sobre el tipo de acción depende entonces del nivel de riesgo. El riesgo bajo se elimina para restauración, pero permanece en vigilancia ambiental. El riesgo muy alto justifica su

restauración por el nivel de contaminación. Sin embargo, la mayoría de los sitios aplicables a la categoría de alto riesgo, requieren otra fase de estudio para definir realmente su nivel de riesgo. Recordemos que la fase de inspección es un análisis preliminar y no es conveniente arriesgarse a invertir fondos en sitios que pudieran tener un riesgo menor de lo estimado.

Por ejemplo, en un sitio pueden encontrarse niveles muy altos de plomo en suelo durante la fase de inspección. Dichos valores serían indicativos de riesgo, pero si la biodisponibilidad (capacidad de absorción) del plomo es baja, aun con valores altos en suelo, su riesgo sería mínimo. ¿Cómo obtener la información sobre biodisponibilidad? La respuesta es simple: a través del uso de biomarcadores de exposición, en este caso de plomo en sangre. Si los niveles de plomo en el suelo son altos, pero son bajos los contenidos en la sangre de la población expuesta, el riesgo es mínimo. Con esto se demuestra que invertir en la restauración de un sitio, teniendo como antecedente sólo las concentraciones ambientales, podría ser un mal negocio.

En consecuencia, el objetivo de la fase para la evaluación de la exposición es la obtención de mayores datos, los que permitirán corroborar o no el riesgo en salud asociado a un sitio. En esta fase se busca información sobre exposición humana a las sustancias tóxicas. Por consiguiente, su diseño se basó en la metodología de ATSDR (Esquema 3).

Esquema 3. Etapas de la fase “evaluación de la exposición”

ANTECEDENTES DEL SITIO	ATSDR
VISITA AL SITIO	ATSDR
PREOCUPACIONES COMUNITARIAS EN SALUD	ATSDR
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	ATSDR
SELECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS	ATSDR
ANÁLISIS DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN	ATSDR
ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN SALUD	ATSDR*
BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN	ATSDR**
BIOMARCADORES NUTRICIONALES	OPS/OMS
EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA TOTAL	OPS/OMS
ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS DE SALUD	ATSDR
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	ATSDR

(ATSDR) Esta etapa está incluida en la metodología de evaluación de riesgos en salud de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos.

(*) La etapa de estimación del riesgo en salud se denomina evaluación toxicológica en la metodología estadounidense.

(**) Esta etapa ya es considerada por la ATSDR, pero sólo se aplica en estudios especiales.

(OPS/OMS) Esta etapa se aplica solamente en la metodología de la OPS/OMS.

Si se comparan las etapas de la fase de “evaluación de la exposición” con las de la “evaluación del riesgo en salud” de la ATSDR (Esquema 3), se advierte que en el caso del método de la OPS/OMS, se incluyen dos etapas no contempladas en el método original de la ATSDR. Las etapas incluidas son: los biomarcadores nutricionales y la evaluación microbiológica total. Además, en el método de la OPS/OMS, los biomarcadores de exposición se aplican siempre, mientras que la ATSDR sólo los aplica en estudios especiales. El resto de las etapas son iguales para ambos métodos.

Con los biomarcadores de exposición, se pretende disminuir la incertidumbre de la estimación del riesgo asociada al uso de los procedimientos matemáticos clásicos. Como se indicó en un ejemplo anterior, el biomarcador de exposición da la pauta sobre la biodisponibilidad de las sustancias. El uso de biomarcadores encarece la metodología, pero los resultados y las conclusiones que pueden obtenerse con su empleo justifican plenamente el costo. Debemos recordar que en América Latina existen enormes necesidades sociales; los problemas de alimentación, sanidad, educación, empleo, etc., son tanto o más importantes que la contaminación del ambiente. Por lo tanto, si la problemática ambiental desviara recursos destinados a las prioridades sociales, el tomador de decisiones debe estar seguro de que dicha acción está justificada por un riesgo significativo en la salud. En este escenario, el uso de biomarcadores de exposición fortalece la conclusión sobre el nivel de riesgo. En otras palabras, es inadmisibles que para una decisión de alto costo social, no se conozca la estimación del riesgo obtenida a través de cálculos matemáticos. Además, estos cálculos deben haber sido alimentados solamente con las concentraciones ambientales de los tóxicos.

La inclusión de los biomarcadores nutricionales y de evaluación microbiológica se da en el espíritu de la equidad ambiental. En América Latina, la mayoría de los sitios peligrosos se localizarían en comunidades marginadas o estarían rodeados por zonas de pobreza. La desnutrición en dichos sitios es una realidad de la vida misma y para algunos agentes químicos, la deficiencia de nutrientes es un factor que incrementa la toxicidad de ellos. Por consiguiente, se debe evaluar la desnutrición para establecer el nivel real del riesgo.

Se incluye la evaluación microbiológica porque en algunos sitios de los países en desarrollo, la contaminación de origen biológico representa un mayor riesgo que la contaminación de origen químico. Además, la interacción entre ambos tipos de contaminación es bastante factible. Por ejemplo, muchos agentes químicos son capaces de alterar el sistema inmunológico, con lo que aumenta la susceptibilidad a los agentes microbianos de los individuos expuestos a ellos. Por otro lado, algunos microorganismos, como aquellos que afectan al hígado, podrían alterar el metabolismo tisular, lo que podría modificar el metabolismo y la toxicidad de algunos compuestos químicos.

En conclusión, la introducción de biomarcadores y la evaluación microbiológica permiten la adaptación de la metodología ATSDR a las condiciones de América Latina. Asimismo, los resultados que pueden obtenerse con la metodología de la OPS/OMS, facilitan la toma de decisiones en cuanto a la restauración del sitio. Todo ello justifica el incremento del costo requerido para instrumentar la fase de “evaluación de la exposición”.

Además de las modificaciones anteriores, a continuación se examinan dos diferencias relevantes entre la metodología propuesta por la OPS/OMS y las metodologías utilizadas en los Estados Unidos:

1. La EPA estima la exposición por ruta, es decir, no suma las dosis calculadas en cada ruta para obtener una dosis total. El trabajo de la EPA se entiende con fines de restauración, la cual se facilita si en cada sitio se establece la ruta de exposición de mayor riesgo, ya que esta ruta sería el objetivo de las primeras medidas correctivas. En el caso de la metodología de la OPS/OMS, las dosis de exposición de cada ruta se suman para obtener una cifra total de estas dosis. Evidentemente, se desconoce que las sustancias mantienen su toxicidad independientemente de la vía de entrada al organismo, lo cual no siempre es cierto. Tal incertidumbre ha sido aceptada con el fin de establecer el máximo riesgo posible. Éste sería el caso de un sujeto expuesto al mismo contaminante a través de diversos medios ambientales. Recordemos que la finalidad es establecer un escenario de máximo riesgo, para brindar a los tomadores de decisiones los argumentos que justifiquen los gastos requeridos para la restauración.
2. En las estimaciones de riesgo, la metodología de la OPS/OMS utiliza factores de exposición específicos. Un ejemplo claro es la ingesta de suelo. En el caso de la EPA y de la ATSDR, el nivel de ingesta de suelo en los niños va de 100 a 200 mg/día. Para el caso de la metodología alternativa, se ha establecido un valor de 350 mg/día. Los distintos valores son entendibles dadas las diferencias en las condiciones de urbanismo entre ambas realidades socioeconómicas. En el caso de América Latina, todavía se cuenta en algunos sitios con calles no pavimentadas, vecindades con patios interiores de tierra, áreas de recreación infantil sin cubierta vegetal, etc.

Conclusión

Los párrafos anteriores describen en general la metodología que la OPS/OMS presenta como alternativa. Se notará que esta propuesta no es del todo novedosa y tampoco pretende serlo. Se busca la funcionalidad y la adaptación a las condiciones imperantes en América Latina, de los métodos desarrollados y aplicados en los Estados Unidos. Sobre todo, se espera tener la certeza al momento de tomar una decisión. La escasez de recursos económicos obliga a la exigencia en la definición del riesgo en salud. Es mucho más económico un buen estudio que una mala decisión.

El método presentado en este manual no es definitivo. Por el contrario, la OPS/OMS busca la interacción con los investigadores de América Latina. Por tal motivo, se solicitan comentarios que puedan enriquecer las futuras versiones de este trabajo.

También debe quedar claro que el desarrollo del presente método no es la única acción que realiza la OPS/OMS en la materia. Por ejemplo, en 1994 se publicó un excelente informe sobre desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe (Serie Ambiental N° 14). Asimismo, se han realizado numerosos cursos teóricos y prácticos, de los cuales se han generado recursos humanos para diferentes países de la Región. Estos cursos se han impartido en distintas disciplinas y se concluyó que la evaluación de riesgos requiere de la formación de grupos multidisciplinarios.

CAPÍTULO 1: GENERACIÓN DE UN LISTADO DE SITIOS PELIGROSOS

1. Esquema general

Este capítulo presenta un sistema para obtener un listado priorizado de sitios peligrosos. El método ha sido diseñado para aquellos países o regiones que carecen de dicha lista y donde se presume que no existe información ambiental. La carencia de información es la principal limitante ya que genera desconocimiento en el sistema. Dicho desconocimiento se supera conforme se van completando los estudios ambientales que se propone efectuar en las siguientes fases de la metodología (capítulos 2 y 3). En consecuencia, el desconocimiento no debe ser una barrera para obtener un listado. Es más, el listado obliga a realizar estudios, motiva la conciencia en los tomadores de decisiones y facilita la instrumentación de planes preventivos.

Con estos antecedentes, debe quedar claro que la primera lista contiene información de sitios potencialmente peligrosos y sólo se establecería el grado real de peligrosidad de cada uno de los sitios listados, luego de haberse obtenido los datos analíticos. Se define como sitio potencialmente peligroso a toda zona que se encuentre potencialmente contaminada con sustancias peligrosas. Las sustancias pueden ser sólidas, gaseosas o líquidas y su origen puede ser antropogénico o natural. En este concepto no se incluye a la contaminación urbana originada por los vehículos automotores; los contaminantes atmosféricos se deben estudiar bajo una metodología distinta a la que se expone en este manual.

2. Grupo organizador

Para generar una lista de sitios potencialmente peligrosos, lo primero que se propone es la formación de un grupo de individuos cuya responsabilidad será precisamente obtener el primer listado. Este grupo deberá estar constituido por miembros del gobierno y del sector privado, investigadores universitarios, representantes de los diferentes grupos de la sociedad civil (unión de consumidores, líderes de la comunidad, etc.) y miembros de las organizaciones no gubernamentales interesadas en la temática.

Para pertenecer al grupo, se debe contar con varios requisitos, por ejemplo, tener experiencia en materia ambiental, conocer la región y poseer mentalidad constructiva para trabajar con personas de diferentes disciplinas y con distintos intereses. Independientemente de su capacidad, todos los miembros del grupo deberán recibir un curso de capacitación en el método de priorización, para establecer bajo un mismo criterio las definiciones técnicas necesarias para el ejercicio. El grupo deberá nombrar a un coordinador para que establezca las normas de las reuniones.

3. Categorías para la elaboración del listado

Luego de haberse definido los integrantes del grupo que elaborará la primera lista, se procede a la uniformidad de criterios, bajo los cuales se listarán los sitios peligrosos. Dentro de los criterios más importantes a establecer antes de iniciar el ejercicio, estaría la definición de las categorías para la identificación de dichos sitios. Por ejemplo, los sitios podrían identificarse considerando sólo aquellos que se localizan en una determinada **región geográfica** (municipal, estatal, nacional, etc.); que tuviesen contaminado un mismo **medio ambiental** (agua subterránea, suelo, agua superficial, aire, etc.); que estuviesen impactados por similares **fuentes contaminantes** (podrían listarse sólo a las zonas mineras, petroleras, etc.); que sus **contaminantes** compartiesen características parecidas (se listarían sitios contaminados con plaguicidas o metales, etc.); y finalmente podrían listarse sitios basados en características **generales** (tomando en cuenta todos los

medios ambientales, todas las fuentes contaminantes y todos los tipos de contaminantes en una región geográfica previamente definida).

Una vez definido el ámbito del listado, es necesario comenzar a reunir información, la cual puede provenir de varias fuentes, entre ellas: (a) la información obtenida a partir de la experiencia de los propios miembros del grupo responsable, (b) los datos de los inventarios industriales o de fuentes contaminantes que pueden existir en las regiones, y (c) la información recopilada a partir de los sistemas de información geográfica u otras fuentes estadísticas. A fin de facilitar el listado de sitios peligrosos, se puede partir con la inclusión de sitios dentro de siete grandes categorías. Estas categorías se han definido sobre la base de las principales fuentes de residuos peligrosos en América Latina.

3.1. Minerometalurgia

Las minas, fundiciones o electrolíticas metalúrgicas, se deben considerar como sitios peligrosos hasta que se demuestre lo contrario. La minería genera residuos metálicos que pueden contaminar especialmente el suelo y las fuentes de agua. Las fundiciones y las electrolíticas pueden contaminar los sitios vecinos a ellas, por la generación de polvos metálicos y en algunos casos por la emisión de gases tóxicos como el bióxido de azufre.

3.2. Regiones agrícolas

Las regiones agrícolas donde se apliquen plaguicidas se deben considerar como potencialmente peligrosas, por la posibilidad de la contaminación del suelo y de fuentes de agua potable. Debido a la gran extensión que puede llegar a tener un área agrícola, la definición de sitio peligroso en una región de esta naturaleza, pudiera limitarse a aquellos puntos donde se permite el contacto humano con los plaguicidas, por ejemplo los ríos, las comunidades agrícolas, etc.

3.3. Macroindustrias

Ante la escasez de mecanismos para el manejo adecuado de residuos industriales, los patios traseros de las industrias suelen tener almacenadas cantidades importantes de residuos peligrosos, y en algunos casos, los baldíos cercanos a las zonas industriales se convierten en auténticos depósitos no controlados de este tipo de residuos. En las áreas de influencia de una zona industrial debe vigilarse la contaminación en todos los medios del ambiente.

3.4. Industria petrolera (incluida la extracción)

La actividad industrial que gira alrededor del petróleo es altamente contaminante y generadora de residuos peligrosos y contiene especialmente compuestos orgánicos.

3.5. Microindustria

En la mayoría de los países, un porcentaje muy importante de la actividad industrial se genera en las microindustrias. En vista de la dificultad de la vigilancia ambiental en este tipo de empresas, en muchas ocasiones éstas se convierten en importantes focos de contaminación. Dentro de los giros microindustriales que suelen causar problemas están las ladrilleras, curtidoras de piel, recicladoras de baterías, pequeñas fundiciones, etc.

3.6. Depósitos no controlados

Como residuos sólidos se debe considerar a los rellenos sanitarios (para discriminar es necesario que se inicie por el estudio de ciudades con una población mayor a 100.000 habitantes), tiraderos clandestinos y confinamientos para residuos industriales no regulados. En cuanto a los residuos líquidos, se deberán analizar las áreas donde lleguen las aguas residuales de industrias y/o ciudades (mayores a 100.000 habitantes).

3.7. Otros

Este apartado se deja para sitios que no pueden categorizarse en ninguna de las clasificaciones anteriores. Tal es el caso de sitios contaminados por actividad natural (volcanes, aguas termales, etc.), o de aquellos contaminados por accidentes químicos (derrames, accidentes carreteros, etc.), áreas impactadas con radiactividad, zonas contaminadas con residuos hospitalarios, etc.

Es importante recalcar que en esta fase, todos los sitios serán considerados como potencialmente contaminados. Por lo tanto, no debe eliminarse ninguno sin que exista prueba de la ausencia de riesgos. En el Anexo 1 se presenta una guía para obtener datos de los sitios que serán listados.

4. Primera priorización

Es factible que al terminar el ejercicio se cuente con un largo listado de sitios, para los cuales existan grandes vacíos de información. Por consiguiente, se plantea que todos los sitios listados deberán ser sujetos de una siguiente fase de estudios, que sería la **inspección preliminar** descrita en el capítulo 2 de este manual. Sin embargo, como la siguiente fase requiere de análisis ambientales, por el costo y tiempo es importante evaluar primero los sitios que pudiesen ser los de mayor riesgo. En este contexto, es necesaria una priorización preliminar de los sitios listados. Se reitera que esta priorización no pretende eliminar sitios, sino ordenarlos sobre la base de la información obtenida. El objetivo es contar con la secuencia para estudiar primero los más peligrosos. Es necesario enfatizar este punto, ya que ante los vacíos de información un sitio que pudiera ser considerado como no peligroso (y por ende localizado en la última posición de la lista priorizada), podría realmente ser peligroso. En el Anexo 1 también se presenta el esquema para establecer la primera priorización.

Al priorizar la lista, los miembros del grupo deberán tener en mente dos factores de suma importancia: que éste es un proceso interactivo y que se deben atender aquellos sitios con vulnerabilidad social. En cuanto al proceso interactivo, el coordinador del grupo deberá generar un mecanismo para que la lista pueda ser corregida y retroalimentada a lo largo del proceso y aun después que la actividad del grupo haya concluido. Con respecto al concepto de vulnerabilidad social, no se pretende abordar en este manual los principios que fundamentan su aplicación, ya que cada país cuenta con un concepto propio, de acuerdo con sus particulares indicadores de desarrollo social y/o económico. Sin embargo, debe quedar claro que los grupos con mayor vulnerabilidad social estarían más propensos a tener eventos de daños a la salud por la presencia de contaminantes.

4.1. Ejemplo de generación de un listado de sitios. Caso San Luis Potosí, México

Considerando los indicadores básicos de bienestar, San Luis Potosí (SLP) es un estado marginado, ya que ocupa el lugar 29 en las 32 entidades mexicanas. Además, en cuanto al PIB per cápita, ocupa el poco favorable lugar 25. De los dos millones de habitantes registrados en el censo poblacional de 1990, 40% se concentraba en la zona metropolitana de la capital. El tamaño de la industria en SLP y su productividad agrícola o minera son limitados en comparación con el resto del país. Así, el sector agropecuario aporta sólo 1.5% al PIB nacional del sector, la minería aporta únicamente 0.5% al PIB nacional del sector y la industria manufacturera ubicada en SLP sólo genera 1.2% del PIB nacional del sector. Por otro lado, a excepción de la ciudad capital, SLP no cuenta con grandes ciudades y a nivel de desarrollo económico algunos de sus municipios están en la lista de los de mayor marginación en el país.

Los datos anteriores no ubicarían a SLP como una región altamente contaminada. Sin embargo, como se describe a continuación en este ejemplo, SLP no sólo tiene 47 sitios potencialmente peligrosos, sino que en los 10 primeros de la lista priorizada, las poblaciones estarían expuestas a sustancias químicas con niveles de alto riesgo.

4.2. Obtención del listado

En primer lugar se formó un grupo de tres individuos, uno provenía de las áreas ambientales del gobierno estatal, otro con igual experiencia perteneciente al gobierno federal y el tercero era un investigador universitario con amplia experiencia en investigaciones ambientales, realizadas en diversos sitios de SLP. El grupo definió como sitio potencialmente peligroso, a toda zona potencialmente contaminada con sustancias químicas y decidió elaborar la lista tomando en cuenta los medios ambientales, las fuentes contaminantes y los tipos de contaminantes en el territorio del Estado de SLP.

Con base en el formato descrito en el Anexo 1, se obtuvo la primera lista. Para el trabajo se consideraron los siguientes sectores:

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Minerometalurgia | 5. Industria petrolera |
| 2. Regiones agrícolas | 6. Depósitos no controlados (sólidos y líquidos) |
| 3. Áreas industriales | 7. Contaminación natural |
| 4. Microindustria | |

En la primera versión, la universidad listó 28 sitios y los representantes gubernamentales listaron 12 sitios. Entre ambas listas sólo hubo tres coincidencias. Por lo tanto, el grupo obtuvo un total general de 37 sitios potencialmente peligrosos.

A continuación se procedió a examinar la información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Se revisaron los bancos de datos industriales, agrícolas y comerciales. Asimismo, el Censo Poblacional de 1990 sirvió para definir ciudades con más de 100.000 habitantes. Con la información del INEGI se obtuvieron 29 sitios y se definieron mejor los sectores agrícolas. De estos 29 sitios, 19 ya habían sido listados por el grupo organizador. Es decir, con la información del INEGI se obtuvieron 10 sitios más que no habían sido contemplados por los expertos.

Al final se obtuvo una lista de 47 sitios. Es importante señalar que el total de los depósitos no controlados incluye los sitios con residuos sólidos (tiraderos industriales, basureros municipales de ciudades con más de 100.000 habitantes, etc.) y a los sitios contaminados con residuos líquidos

Capítulo 1: Generación de un listado de sitios peligrosos

(áreas con aguas residuales, acuíferos contaminados, etc.); los primeros sitios son los más numerosos. El sector petrolero es muy pobre en SLP y por ello ocupó un último lugar. Este hecho permite una reflexión. La participación de los sectores en el listado de sitios peligrosos será una característica local. Es decir, con los datos de SLP no puede inferirse el comportamiento de otras entidades. Así por ejemplo, en el sudeste mexicano (la región donde se concentra el sector petrolero del país), los sitios peligrosos relacionados con dicho sector tendrían mayor relevancia que la encontrada en SLP.

En cuanto a los listados por sector y por fuente (universidad, gobierno o INEGI), fue notorio que para el sector minero el gobierno no aportó sitio alguno, en tanto con los datos del INEGI, se pudo listar los nueve sitios que finalmente quedaron como representantes de este sector. En la agricultura, la información del INEGI permitió listar los sitios. El gobierno aportó mayores datos en el sector industrial y de depósitos no controlados, contaminados con residuos sólidos. La universidad mantuvo una constante, pero destacó como fuente informativa de sitios peligrosos relacionados con la microindustria, depósitos no controlados de residuos líquidos y lugares con contaminación natural. Curiosamente sólo hubo dos sitios listados por los tres componentes de información: uno agrícola y el otro petrolero.

4.3. Primera priorización

El esquema seguido para obtener la primera priorización de los sitios potencialmente peligrosos, se describió en secciones anteriores de este capítulo y se presenta en el Anexo 1 de este manual. Al analizar los primeros 10 sitios listados, se notan algunos puntos importantes. Todos son sitios donde se involucra la contaminación de más de un medio ambiental, de hecho, el sitio más peligroso fue el que contó con mayor número de medios ambientales impactados. En todos se cuenta con evidencia de exposición humana a las sustancias químicas y en ocho de ellos, existe preocupación social. El tamaño de los poblados afectados es variable. En la gran mayoría también existe contaminación de origen microbiológico. Puede concluirse que este primer grupo de 10 sitios es auténticamente un grupo formado por áreas de alto riesgo. Dentro de los primeros 10 sitios, cinco son agrícolas, dos están relacionados con cuerpos de agua y dos más son del ramo minerometalúrgico. El restante es del grupo de las microindustrias. Estos datos indicarían que es altamente prioritario atender el mal uso de plaguicidas.

5. Conclusión

Se concluye que la experiencia de identificar y priorizar sitios en SLP es la primera realizada en México. Existen algunos antecedentes de priorización, pero en dichos ejercicios se tomaron sitios previamente estudiados. Además, el caso de SLP sirvió para mejorar la metodología descrita en este capítulo. Los datos generados en San Luis Potosí han servido como instrumento para el desarrollo de la política ambiental en esta entidad. Así, ahora ya existen programas de restauración para cuatro de los diez sitios más peligrosos y un activo programa de inspección para los sitios restantes. En otras palabras, cuando una metodología es capaz de transformarse en acciones concretas, significa que la metodología funciona. Utilizándola ahora, ya se cuenta con las listas de los Estados de Querétaro y de Baja California.

CAPÍTULO 2: INSPECCIÓN DE SITIOS PELIGROSOS

La INSPECCIÓN es la fase que sigue a la obtención de un listado de sitios peligrosos. En vista de que por lo general los listados incluyen un gran número de sitios, es necesario que la inspección sea una fase simple y económica. Pero además, la inspección debe contar con la calidad suficiente para concluir con certeza si un sitio está o no contaminado con sustancias químicas y/o microorganismos patógenos. La fase de INSPECCIÓN comprende cinco actividades: visita al sitio, monitoreo de la contaminación ambiental, selección de contaminantes críticos, análisis preliminar de rutas de exposición y estimación preliminar del riesgo. Al final del ejercicio, se aportan conclusiones y los sitios inspeccionados son calificados para determinar si requieren de un análisis más detallado.

1. Visita al sitio

La visita al sitio que se incluye en la INSPECCIÓN es una visita rápida, de uno a dos días. En el caso de que el sitio requiera de estudios más detallados, se pasa a la fase de “evaluación de la exposición” (Capítulo 3), donde se contempla una visita más completa. En la INSPECCIÓN la visita tiene tres objetivos: describir el sitio, reconocer el tipo de los contaminantes presentes en el sitio y definir cuáles serían los puntos de exposición.

1.1. Descripción del sitio

En el informe se deben describir las generalidades sobre la localización del sitio, su demografía (tamaño y distancia de las poblaciones más cercanas), el problema ambiental (breve historia y antecedentes generales) y las principales quejas de la población en torno al problema. La descripción del sitio debe ser breve pero completa.

1.2. Tipos de contaminantes

Obviamente, sin análisis químicos previos, es difícil determinar con precisión los contaminantes presentes en el sitio. Sin embargo, durante la visita sí pueden definirse con claridad suficiente los tipos de contaminantes, es decir, si se trata de un compuesto inorgánico, orgánico o un agente microbiano. Para llegar a tal definición, durante la visita al sitio se deberá establecer con la mayor exactitud posible, el origen de la contaminación. Las entrevistas con autoridades locales y con la población son de suma importancia para este fin.

1.3. Puntos de exposición

Los puntos de exposición son los lugares donde la población entra en contacto con los contaminantes, por ejemplo el grifo para la fuente de agua potable, el suelo en áreas de recreación infantil, los alimentos, etc. Una buena selección de puntos de exposición es muy importante ya que el muestreo ambiental se debe realizar precisamente en ellos. La relevancia de los puntos de exposición estará determinada por los siguientes factores: (1) nivel aparente de contaminación (puntos en zonas contaminadas versus puntos alejados de la fuente de contaminación); (2) número de gente afectada en cada punto, por ejemplo el caso de un poblado rural con un solo grifo de agua de donde se abastece toda la comunidad y (3) tipo de gente afectada (niños, adultos, ancianos, mujeres en edad reproductiva, etc.). Durante la visita al sitio, el evaluador responsable del estudio también debe definir las zonas donde no existan evidencias de la contaminación, ya que en ellas se efectuará la toma de muestras basales (servirán para establecer el nivel natural de los contaminantes en la zona de estudio).

2. Contaminación ambiental

En esta sección los objetivos son el muestreo ambiental y la determinación de los contaminantes mediante el análisis químico en el laboratorio.

2.1. Muestreo ambiental

El muestreo se debe realizar en los puntos de exposición, para lo cual se debe abarcar por lo menos los puntos de mayor importancia, según los criterios definidos en la sección anterior. Es de suma importancia que el muestreo se efectúe bajo normas de calidad. Por consiguiente, se invita al lector a consultar los manuales profesionales de muestreo, tal como el publicado por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). En el capítulo 3 del presente manual, se expone con mayor detalle los requerimientos para realizar un buen muestreo en cada uno de los diferentes medios del ambiente.

La selección de los medios del ambiente que deben muestrearse en la fase de INSPECCIÓN queda a criterio de cada evaluador. En algunos lugares deberán tomarse muestras de agua superficial y sedimento; en otros podría bastar con el muestreo de suelo. Cada sitio es particular, por lo cual podría suceder que los criterios de uno no se apliquen a otro. Sin embargo, el evaluador deberá entender que durante la fase de INSPECCIÓN no se recomienda un muestreo muy detallado. A pesar de esto, en sitios bien definidos, tales como un relleno sanitario o una industria, el muestreo debe realizarse tanto “dentro” como “fuera” del sitio, con el objeto de investigar la posibilidad de que la contaminación dentro del sitio haya impactado los ambientes vecinos.

No obstante, en todos los casos, es importante recordar la necesidad de obtener muestras basales. Éstas serían muestras colectadas gradiente arriba y en contra de la dirección predominante de los vientos del foco contaminante. Habrá zonas como las regiones mineras, donde se necesitará mucha cautela al definir el punto basal, ya que los yacimientos de minerales podrían extenderse más allá de la mina y un punto considerado como basal, podría resultar con un alto contenido de metal, por la presencia del yacimiento mismo y no por la actividad minera. Especial atención merecerían en estos casos los acuíferos y los suelos.

2.2. Análisis ambiental

Para la discusión sobre este punto, se debe tener muy claro el concepto de INSPECCIÓN. Es decir, se debe entender la necesidad de investigar un gran número de sitios en el menor tiempo posible y sin utilizar herramientas que impliquen un desembolso. Al mismo tiempo se exige calidad y precisión. ¿Cómo lograr este balance en sitios para los cuales se carece de información suficiente?

En todos los sitios se encontrarán tres tipos posibles de contaminación: por compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y contaminantes biológicos (microorganismos).

Con referencia a los compuestos inorgánicos, se debe centrar principalmente en metales y minerales no metálicos. Conforme a nuestra experiencia, bastaría con determinar los elementos tóxicos más frecuentes, por ejemplo, cromo, cadmio, mercurio, manganeso, níquel, plomo, arsénico y flúor. Sin embargo, en algunos sitios se podría presentar contaminación por elementos no incluidos en esta lista, tales como el cobre, cobalto, bario, etc. Esta incertidumbre concluye si una de las muestras se analiza mediante la espectrometría de emisión por plasma, con el fin de obtener un “barrido” de todos los metales. Conociendo los metales más abundantes, el resto de las muestras se puede analizar a través de métodos más económicos, como la espectrofotometría de

absorción atómica. En muchos sitios no será necesario cuantificar todos los metales, sino sólo a los más importantes según su concentración y toxicidad. Una alternativa analítica podrían ser los métodos colorimétricos. Esta alternativa es válida, siempre y cuando el laboratorio que realice dichos métodos cuente con parámetros de control de calidad, incluidas las posibles interferencias analíticas a causa de la presencia de otras sustancias.

El análisis de los compuestos orgánicos es más complicado ya que estos compuestos comprenden cuando menos tres grandes grupos: volátiles, semivolátiles y compuestos polares. Para esto, se requiere un laboratorio que tenga por lo menos cromatógrafos de gases (con accesorios como purga y trampa, "headspace", detector de masas, detector de captura de electrones, etc.) y cromatógrafos de líquidos con sus propios detectores (fluorescencia, ultravioleta, etc.). Asimismo, el análisis cuantitativo es sumamente costoso, por el precio de los insumos que se requieren no sólo para el análisis mismo (columnas, gases, etc.), sino también para la preparación de la muestra (elementos para la extracción). Es decir, se requiere de un laboratorio equipado y con apoyo económico importante. Podría suceder que estos puntos no se cumplan en una fase de INSPECCIÓN, sobre todo el referente al apoyo económico. Por consiguiente deben buscarse alternativas. Una de ellas sería realizar análisis cuantitativos solamente de los compuestos más importantes para el sitio en estudio. Otras alternativas serían el empleo de los métodos "ELISA", donde se utilizan anticuerpos específicos contra un compuesto en particular (estos métodos tienen la ventaja de que no requieren un cromatógrafo, pero tienen dos desventajas: es que el anticuerpo comercial es costoso y que algunos métodos dan reacción cruzada entre compuestos semejantes). Cada laboratorio deberá analizar los compuestos orgánicos de acuerdo con sus posibilidades técnicas y económicas, para lo cual recordará que independientemente del método seleccionado, los análisis deberán cumplir los criterios de calidad.

En cuanto a los contaminantes microbiológicos, el análisis de agua y alimentos es accesible, dado que existen numerosos métodos tanto para bacterias como para parásitos. El punto se complica en el análisis de suelo. Para este medio ambiental, es limitada la información metodológica sobre análisis de microorganismos patógenos para el hombre. Otro punto clave en cuanto a estudios microbiológicos es la detección del virus. Los análisis para estos agentes biológicos son por lo general costosos. Nuevamente, queda a criterio de los laboratorios definir si en la fase de INSPECCIÓN, es indispensable el estudio de suelo y/o de elementos virales en los sitios peligrosos. En todos los casos, la información microbiológica deberá completarse con datos recopilados en el centro de salud más cercano al sitio en estudio.

Es importante recordar que en el informe final, la información obtenida se debe presentar en textos y gráficos (figuras, cuadros, etc.). La información deberá contener como mínimo los siguientes puntos: diseño y representatividad del muestreo, medio del ambiente analizado, fecha de muestreo, localización de los puntos de muestreo y concentraciones encontradas en los medios analizados.

3. Selección de contaminantes críticos

La importancia de los niveles de los contaminantes encontrados se podría determinar comparando su concentración contra valores de referencia. El evaluador podría emplear valores nacionales, como las normas que rigen en el país o utilizar referencias internacionales, como las de la Organización Mundial de la Salud, Comunidad Económica Europea, etc. No obstante, se debe resaltar que es muy difícil obtener un valor de referencia de algunos contaminantes en algunos medios. Por lo tanto, para estimar la importancia de los contaminantes, se comparará su concentración contra un valor de referencia denominado Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés). Estos valores EMEG han sido propuestos por la ATSDR.

Es importante aclarar que la EMEG no es una norma ambiental. Su única función es servir como referencia para definir los contaminantes críticos del sitio. El uso de la EMEG se fundamenta en el hecho de que para su cálculo se toma en cuenta la dosis con la cual el contaminante no causa daño alguno (MRL de la ATSDR o RfD de la EPA - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). Así, la EMEG se convierte en una guía ambiental de máxima seguridad. Por lo tanto, un contaminante cuya concentración en el ambiente supere a la EMEG en cualquiera de los medios, deberá ser sujeto de un análisis toxicológico. Un contaminante que no rebase a la EMEG en alguno de los medios analizados, podría ser descartado.

El cálculo de la EMEG se obtiene multiplicando la dosis de riesgo mínimo de la ATSDR (MRL) o la dosis de referencia de la EPA (RfD) por el peso corporal y dividiendo el producto entre la tasa de ingestión diaria de agua, suelo o polvo.

$$EMEG = \frac{MRL \text{ o } RfD \text{ (mg / kg / día) } \times PC \text{ (kg)}}{TI \text{ (kg o L / día)}}$$

MRL o RfD = La información sobre la RfD de cada sustancia se puede obtener del banco de datos IRIS del sistema TOXNET; el MRL puede obtenerse de la bibliografía publicada por ATSDR.

PC = Peso corporal = 10 kg/infante, 14 kg/niño (3-6 años) o 70 kg/adulto.

TI = Tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro/niño y 2 litros/adulto.
 Tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg/niño y 50 mg/adulto.
 Tasa de ingestión diaria de polvo = 35 mg/niño y 5 mg/adulto.
 (Al no existir un valor confiable en la literatura, para el cálculo de la ingesta de polvo se utilizó un factor de incertidumbre de 10 con el factor de ingesta de suelo).

Nótese que para el cálculo de la EMEG no se han utilizado factores de exposición, tal como el índice de biodisponibilidad. Por lo tanto la EMEG es un factor conservador, ya que busca prevenir el máximo riesgo. No obstante, por esta razón la EMEG no se debe utilizar como norma ambiental.

FUNDAMENTOS PARA DEFINIR A LOS CONTAMINANTES CRÍTICOS

1. Que su concentración en alguno de los medios del ambiente supere a la EMEG o al valor de referencia empleado y/o
2. Que sean causa de preocupación social.

Otros factores de decisión considerados para definir un contaminante como crítico serían: (1) ser un tóxico persistente; (2) tener efecto aditivo con otro de los tóxicos presentes en el sitio; y (3) que exista evidencia de una exposición al mismo.

Notas:

- LA EMEG PARA AIRE ES IGUAL AL VALOR DE RfD o MRL.
- SÓLO LOS CONTAMINANTES CRÍTICOS SERÁN SUJETOS DEL ANÁLISIS PRELIMINAR DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN Y DE LA ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO.

4. Análisis preliminar de las rutas de exposición

Una vez seleccionados los contaminantes críticos, el evaluador debe estimar la posibilidad de que en el futuro dichos contaminantes se encuentren en otros medios del ambiente. Para efectuar este ejercicio teórico se debe considerar los principios fisicoquímicos de cada sustancia. Con ellos se podrá determinar la capacidad de transporte de las sustancias a través de los medios y, por consiguiente, se podrá definir su destino ambiental. La evaluación de los mecanismos de transporte es muy importante para determinar la posibilidad de contaminación potencial más allá de las áreas muestreadas y la necesidad de efectuar estudios adicionales de muestreo ambiental.

En general, el transporte ambiental involucra los movimientos de gases, líquidos y partículas sólidas, dentro de un medio determinado y a través de interfases entre aire, agua, sedimento, suelo, plantas y animales. Cuando una sustancia es emitida al ambiente puede ocurrir uno o más de los siguientes eventos:

- Movimiento En agua, sedimento suspendido, etc.
- Transformación física Volatilidad, lluvia, etc.
- Transformación química Fotólisis, hidrólisis, oxidación/reducción, etc.
- Transformación biológica Biodegradación, etc.
- Acumulación en uno o más medios Incluyendo el medio originalmente contaminado.

Usualmente los mecanismos de transporte y el destino de los contaminantes pueden simplificarse en cuatro categorías básicas:

1. Emisión: Escape o descarga de material contaminado desde la fuente.
2. Advección: Migración del contaminante en sentido del movimiento del medio (por ejemplo, migración en la dirección de la corriente de un arroyo, en la dirección de los vientos predominantes, por el lavado de los suelos por corrientes superficiales, etc.).
3. Dispersión: Distribución de contaminantes en un líquido, gas o sólido, debido a la colisión del contaminante con material presente en dichas fases.
4. Atenuación: Disminución de la cantidad del contaminante en el medio ambiental por fenómenos de degradación o de adsorción a elementos del propio medio.

Un evaluador debe buscar la respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿A qué velocidad están entrando los contaminantes al medio? (emisión)
- ¿Adónde se dirigen los contaminantes y qué tan rápido están migrando? (advección)
- ¿Cuál es el grado de degradación de los contaminantes mientras están migrando? (atenuación)
- ¿Los contaminantes migrarán a otros medios? (transferencia entre medios).

4.1. Factores químicos que afectan el destino y transporte de los contaminantes

El evaluador debe considerar los factores de naturaleza química que podrían influir en el transporte del contaminante. Algunos de ellos se discuten en los siguientes párrafos.

Solubilidad en agua: Los compuestos muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad a los suelos. Por lo tanto, son rápidamente transportados desde el suelo contaminado hasta los cuerpos de agua superficial y/o profunda. La solubilidad también afecta la volatilidad desde el agua. Por ejemplo, los compuestos muy solubles en agua tienden a ser menos volátiles y también muy biodegradables.

Constante de la Ley de Henry (H): Cuando la presión de vapor es alta con respecto a su solubilidad en agua, la constante de la ley de Henry también es alta y el compuesto preferentemente se evaporará en el aire. Un alto valor para la constante de la ley de Henry de un contaminante, podría sugerir que la inhalación sería la vía de exposición.

Coefficiente de partición de carbono orgánico (Koc): Un “Koc” alto indica que el compuesto orgánico se fija con firmeza a la materia orgánica en el suelo, por lo que se va poca cantidad del compuesto a las aguas superficiales o acuíferos. Un bajo “Koc” sugiere la posibilidad de que el compuesto pueda ir a los cuerpos de agua.

RANGOS DE LA CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY	
VOLATILIDAD	RANGOS DEL VALOR (atm m ³ /mol)
No volátil	Menor que 3×10^{-7}
Baja volatilidad	3×10^{-7} a 1×10^{-5}
Volatilidad moderada	1×10^{-5} a 1×10^{-3}
Alta volatilidad	Mayor que 1×10^{-3}

RANGOS DEL Koc (ml/g carbono orgánico)	
ADSORCIÓN A SUELO	VALORES DEL COEFICIENTE
Muy débil	< a 10
Débil	10 a 100
Moderada	100 a 1000
De moderada a fuerte	1000 a 10,000
Fuerte	10 mil a 100,000
Muy fuerte	> a 100,000

Coefficiente de partición octanol/agua (Kow): Los compuestos químicos con valores altos de “Kow” tienden a acumularse en las porciones lipídicas de los organismos y a concentrarse en suelos y sedimentos (compuestos con un “LogKow” > 3 ó > 1000). Además, esta clase de compuestos se pueden transferir a los humanos a través de la cadena alimentaria. Por el contrario, los compuestos con bajos “Kow” tienden a distribuirse en el agua o aire.

Factor de bioconcentración (FBC): Este factor se determina dividiendo la concentración al equilibrio de un compuesto químico en un organismo o tejido (como el de un pescado) entre la concentración del mismo compuesto en un medio externo (como el agua donde habitaba dicho pescado). En general, los compuestos que tienen un alto valor de “Kow” tienen un alto FBC. Sin embargo, algunos compuestos como los hidrocarburos aromáticos no se acumulan en peces y vertebrados a pesar de su alto “Kow”. Esto se debe a que los peces tienen la habilidad de metabolizar rápidamente dichos compuestos. Por otro lado, la biomagnificación es un concepto que se utiliza cuando un organismo en un nivel trófico superior es capaz de acumular mayor cantidad de contaminante que un organismo de la misma cadena alimentaria ubicado en un nivel trófico inferior.

Velocidad de transformación y degradación: Este factor toma en cuenta los cambios físicos, químicos y biológicos de un contaminante a través del tiempo. La transformación es influenciada por la hidrólisis, la oxidación, la fotólisis y la degradación microbiana. En tanto la biodegradación es la ruptura de compuestos orgánicos por la actividad biológica, la mayoría de las veces por actividad microbiana. Es difícil calcular con precisión las velocidades de transformación química y degradación. Su aplicación también se dificulta, ya que todo ello depende de variables físicas y biológicas específicas del sitio de estudio.

4.2. Factores del sitio de estudio que influyen en el destino y transporte de los contaminantes

Cuando se están identificando las posibles rutas de transporte, el evaluador debe considerar también los factores específicos del sitio de estudio que pudieran influir en el transporte de los contaminantes. Cada sitio es único y debe ser evaluado a fin de determinar las características que podrían incrementar o disminuir la migración de los contaminantes de importancia. Muchos de los factores que afectan el transporte dependen de las condiciones climáticas y de las características físicas del sitio. Algunos de estos factores son discutidos en los siguientes párrafos.

Índice de precipitación anual: Este dato puede ser muy útil para determinar la cantidad de arrastre de suelo por corrientes superficiales, los promedios de recarga de acuífero y/o el contenido de humedad en suelos. Un alto índice anual de precipitación en un sitio contaminado con un compuesto muy hidrosoluble ocasionaría una importante migración. Además la precipitación es un fenómeno de atenuación para el aire, ya que remueve las partículas y vapores presentes de la atmósfera.

Condiciones de temperatura: Afectan el índice de volatilidad de los contaminantes. Además la temperatura terrestre también afecta el movimiento de los contaminantes; por ejemplo, una zona congelada retarda el movimiento.

Velocidad y dirección de los vientos: Influyen en el índice de generación de polvos fugitivos. Durante los periodos de estabilidad atmosférica, la sedimentación gravitacional actuará para depositar de nuevo las partículas o gotas suspendidas.

Características geomorfológicas: Estas características pueden jugar un papel muy importante en la velocidad de las corrientes de agua, así como en el volumen y en el índice de arrastre de suelo por corrientes superficiales o por fenómenos de erosión. Los terrenos sobre piedras calizas pueden incrementar las conexiones hidrológicas entre cuerpos de agua superficiales y acuíferos.

Características hidrogeológicas: Los tipos y la localización de acuíferos son importantes para determinar el peligro que el sitio representa para las fuentes de agua potable.

Canales de aguas superficiales: Los canales y sus crecidas cerca del sitio también pueden afectar la magnitud de la migración de los contaminantes.

Características del suelo: Se deben considerar los siguientes parámetros: configuración, composición, porosidad, permeabilidad, capacidad de intercambio catiónico y cubierta vegetal. Estos parámetros influyen en los índices de percolación, recarga de acuíferos, lixiviado de contaminantes y transporte. Para delimitar la zona contaminada, se necesita contar con la información de los niveles basales de metales, compuestos orgánicos y pH en suelos del área.

Flora y fauna: El hombre puede usar la flora y fauna como fuente alimenticia con lo cual se facilitaría la exposición humana.

Obras públicas: Las alcantarillas o los canales de drenaje pueden facilitar el movimiento de contaminantes. Asimismo un pozo mal construido puede causar contaminación entre acuíferos.

5. Estimación preliminar del riesgo

El método para la estimación preliminar del riesgo que se expone a continuación, se basa en la metodología de estimación de riesgo desarrollado en los Estados Unidos. En su planteamiento original, la metodología consiste en cuatro fases iniciales, a las cuales se le ha incluido una quinta fase para enfatizar los aspectos que podrían modificar el riesgo en salud:

1. Identificación del contaminante
2. Análisis Dosis-Respuesta
3. Estimación de la exposición
4. Caracterización del riesgo
5. Factores asociados al riesgo (incluidos microbiológicos).

5.1. Identificación del contaminante

En esta sección se resume la información sobre los contaminantes presentes en el sitio. En la INSPECCIÓN se deberán contestar las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la ruta de exposición más importante en el sitio?
- ¿Cuáles son los contaminantes críticos detectados en dicha ruta?
- ¿Existe la posibilidad de que los contaminantes se transporten de un medio a otro?
- ¿Cómo se da la exposición a los contaminantes (frecuencia, duración, etc.)?
- ¿Cuál es la población en riesgo (niños, adultos, mujeres embarazadas, etc.)?
- ¿Cuáles son los efectos tóxicos de los contaminantes críticos?

Además de las respuestas a las anteriores preguntas, en esta fase de INSPECCIÓN se debe incluir una clasificación de los contaminantes identificados, según su grado de toxicidad y de

persistencia en el ambiente. Según su toxicidad, las sustancias químicas se pueden clasificar como sustancias no tóxicas y en sustancias con toxicidad ligera, moderada o severa. Según su persistencia, las sustancias se pueden clasificar como no persistentes, persistentes, algo persistentes y altamente persistentes (ver cuadros de toxicidad y persistencia en la sección de anexos).

5.2. Análisis dosis-respuesta

A través de diferentes investigaciones, la EPA ha definido una serie de dosis de referencia (**RfD**) para diferentes sustancias químicas. De la misma manera, la ATSDR ha definido las dosis de riesgo mínimo (**MRL**). Ambas clasificaciones de dosis implican que las sustancias químicas a estos niveles no son nocivas, es decir, un contaminante a una dosis similar a la RfD o MRL, no deberá representar un riesgo para la gran mayoría de los individuos.

La RfD y la MRL son dosis teóricas que han sido generadas a través de curvas dosis-respuestas. Tanto la RfD como la MRL se han obtenido a partir de la dosis de exposición en la que se presenta el primer efecto adverso. Si una sustancia causa varios efectos adversos, sólo el que se presenta a la menor dosis es considerado para el cálculo de la RfD o del MRL. Es importante recordar que por lo limitado de los estudios científicos, para algunas sustancias no se han calculado las RfD o MRL. El evaluador deberá obtener información de la RfD a partir del banco de datos IRIS (banco de información de la EPA) y del MRL a partir del banco de datos de la ATSDR. La información numérica generalmente se acompaña a los estudios que originaron la dosis de referencia o de riesgo mínimo. Es decir, junto al valor de la dosis se puede obtener información sobre el efecto seleccionado para su cálculo.

Una vez que cuente con estos datos, el evaluador deberá hacer esfuerzos para obtener la **NOAEL** (la máxima dosis experimental en la cual no se ha observado efecto adverso alguno para el padecimiento seleccionado) y la **LOAEL** (mínima dosis experimental en la cual se observa un efecto adverso). La NOAEL y LOAEL pueden obtenerse revisando la literatura científica (los “perfiles toxicológicos” de la ATSDR son excelentes para este fin y el banco de datos IRIS también cuenta con información útil). Al final, el evaluador tendrá tres tipos de dosis en mg/kg/día, las que siempre deberán ser consideradas para la misma vía (oral, dérmica o inhalatoria) y para el mismo efecto o padecimiento:

- La RfD y/o MRL= Dosis de seguridad en la cual no debe haber efecto alguno
- La NOAEL = Dosis máxima en la que no se ha observado efecto adverso alguno.
- La LOAEL = Dosis mínima en la cual ya se observó algún tipo de efecto adverso.

5.3. Estimación de la exposición

Como el título lo indica, en esta sección se busca conocer aproximadamente la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto. La estimación se obtiene a través de fórmulas que se explican más adelante. Es importante recordar que para la fase de INSPECCIÓN, se ha decidido no efectuar estudios analíticos en aire, por el tiempo que implica un buen muestreo. Por lo tanto, la estimación de la exposición a contaminantes en aire sólo se efectuará cuando se cuente con datos confiables de otras fuentes. En caso contrario, una de las recomendaciones surgidas del estudio de inspección podría ser la instrumentación de un estudio de monitoreo de aire.

Para estimar la exposición se siguen algunas reglas simples:

1. Considerar sólo los medios ambientales para los que se cuenta con datos analíticos confiables.
2. Anotar la concentración mínima, máxima y promedio del contaminante crítico para el medio ambiental seleccionado.
3. Analizar la vía de exposición para la ruta crítica (ingesta para suelo, polvo, alimento y agua; inhalación por aire; dérmica para orgánicos; etc.).
4. Definir el grupo poblacional de mayor riesgo en el sitio.

Es importante establecer tres dosis: la dosis mínima, para la cual se emplea el valor mínimo de concentración ambiental del contaminante en el medio seleccionado; la dosis máxima, que se obtiene con el nivel máximo y la dosis promedio, para la que se utilizan medidas como la media aritmética de la concentración del contaminante en el medio ambiental.

En las hojas siguientes se presentan algunos ejemplos tomados del MANUAL DE RIESGOS EN SALUD POR LA EXPOSICIÓN A RESIDUOS PELIGROSOS, de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (la traducción al español puede obtenerse a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).

PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

$$Dosis (mg / kg / día) = \frac{Conc. \times TI}{PC} \times FE$$

Dosis Dosis de exposición que está estimándose

Conc. Concentración del contaminante en el medio ambiental seleccionado

TI	tasa de ingestión diaria de agua	=	1 litro/niño	2 litros/adulto
	tasa de ingestión diaria de suelo	=	350 mg/niño	50 mg/adulto
	tasa ingestión diaria de polvo	=	35 mg/ niño	5 mg/adulto
	tasa de inhalación diaria de aire	=	3.8 m ³ /infante	15 m ³ /niño
			21 m ³ /mujer	23 m ³ /hombre

[Para el caso de suelo y polvo, la TI deberá multiplicarse por 1x10⁻⁶ kg/mg]

En el caso de los alimentos, mediante cuestionario a levantarse entre la población expuesta, se obtendrá información sobre el tipo de alimento, frecuencia de ingesta, cantidad consumida y método de preparación culinaria; no existen valores estándares ya que las costumbres pueden variar de manera importante según la región.

PC Peso corporal = 10 kg/infante, 14 kg/niño (3-6 años) ó 70 kg/adulto

FE Factor de exposición; incluye datos de biodisponibilidad, absorción y/o temporalidad Los datos pueden provenir de la literatura científica y del estudio efectuado en el sitio.

ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN

Ejemplo 1, Agua:

Considere la exposición humana a una fuente primaria de abastecimiento de agua que está contaminada con 350 mg/L de cloruro de metilo. Para calcular la dosis de exposición en adultos, asuma un peso corporal de 70 kg.

$$D_{ag} = \frac{C \times TI \times FE}{PC} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/día} \times 1}{70 \text{ kg}} = 10 \text{ mg/kg/día}$$

Para niños asuma un peso corporal de 10 kg.

$$D_{ag} = \frac{C \times TI \times FE}{PC} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/día} \times 1}{10 \text{ kg}} = 35 \text{ mg/kg/día}$$

Ejemplo 2, Suelo:

Considere como escenario de exposición a un suelo contaminado con una concentración de 100 mg/kg de algún compuesto. El índice de ingesta en adultos es de 50 mg/día. Asuma que los individuos se encuentran expuestos durante cinco días a la semana, durante 50 semanas al año por un espacio de 30 años.

Primero calcule el factor de exposición:

$$FE = \frac{(\text{frecuencia de exposición})}{(\text{tiempo de exposición})}$$

$$FE = \frac{(5 \text{ d / semana})}{(7 \text{ d / semana})} \times \frac{(50 \text{ semanas / año})}{(52 \text{ semanas / año})} \times \frac{(30 \text{ años})}{(70 \text{ años})} = \frac{7.500 \text{ días}}{25.480 \text{ días}} = 0,29$$

$$D_s = \frac{C \times TI \times FE \times 10^{-6}}{PC} = \frac{100 \text{ mg / kg} \times 50 \text{ mg / día} \times 0,29 \times 10^{-6} \text{ kg / mg}}{70 \text{ kg}} = 2 \times 10^{-5} \text{ mg / kg / día}$$

Nota : Para la evaluación de riesgo en salud, en algunos casos se deberá incluir un factor que considere la biodisponibilidad de la sustancia. Advierta el uso del factor de 1×10^{-6} kg/mg para ordenar las unidades.

5.4. Caracterización del riesgo

La caracterización del riesgo puede calcularse para efectos cancerígenos y para efectos no cancerígenos. En ambos casos, primero se calcula el riesgo individual y después se procede a estimar el riesgo poblacional.

5.4.1 Caracterización del riesgo cancerígeno

Se utiliza un factor denominado Factor de Potencia Carcinogénica (FPC) y otro factor denominado Unidad de Riesgo (UR). El FPC es una dosis (mg/kg/día)⁻¹ y la UR es una concentración (µg/L o µg/m³)⁻¹.

Para calcular el riesgo de cáncer asumiendo dosis:

1. Se estima la dosis de exposición para adulto y se obtiene un valor en mg/kg/día.
2. La dosis se multiplica por el FPC de la sustancia cancerígena y así se obtiene el riesgo individual (considerar los factores de exposición; por ejemplo si un trabajador solamente estuvo expuesto por dos años al cancerígeno, el producto de la multiplicación dosis x FPC se multiplica luego por 2/70).
3. El riesgo individual se multiplica por el total de la población (incidencia de cáncer). Por ejemplo:
 - Suponga que para el contaminante H2 se calculó una dosis de 3×10^{-3} mg/kg/día y la literatura indica que el FPC para el H2 es de 2×10^{-2} mg/kg/día⁻¹.

- Al multiplicar dosis por FPC se obtiene un riesgo individual de 6×10^{-5} , lo cual indica una probabilidad individual de seis casos de cáncer en 100.000 individuos.
- Si ahora se multiplica el 6×10^{-5} por una población que hipotéticamente tenga cinco millones de habitantes, $[(6 \times 10^{-5}) (5 \times 10^6)]$, se tendría un riesgo de 300 casos de cáncer en dicha población atribuibles a la presencia del contaminante H2.

Para caracterizar el riesgo cancerígeno utilizando la UR, se procede de la misma forma, sólo que en lugar de utilizar la dosis se empleará la concentración ambiental del contaminante. Obviamente se debe utilizar la UR indicada para el medio ambiental que se desea evaluar. El valor que se obtenga de la multiplicación (concentración ambiental x UR) se deberá multiplicar por el total de la población para obtener el riesgo poblacional. Los factores FPC y UR fueron estimados para unas cuantas sustancias y se pueden obtener del banco de datos IRIS o de la información bibliográfica distribuida por la ATSDR.

5.4.2 Caracterización del riesgo no cancerígeno

En la práctica no todos los contaminantes son cancerígenos. Por lo tanto, para este tipo de contaminantes la caracterización del riesgo consiste en tres elementos:

1. Severidad del efecto en salud
2. Relación dosis estimada/RfD o MRL = riesgo individual
3. Población expuesta

La **severidad del efecto** puede clasificarse como catastrófico, serio o adverso. El efecto catastrófico es el que pone en riesgo la vida (por ejemplo, efecto letal, daño cardíaco, invalidez, retardo mental, desorden hereditario, osificación anormal). El efecto serio es aquél que sin poner en riesgo la vida sí causa un problema de salud (por ejemplo, función alterada de órganos, daño neurológico, efecto en el comportamiento, aborto, infertilidad, etc.). El efecto adverso es el que no se puede definir directamente como una enfermedad, pero sí como una alteración (por ejemplo, bajo peso al nacer, actividad enzimática disminuida, hiperplasia o hipertrofia de tejidos, irritación de ojos o piel, alteración reversible del funcionamiento orgánico, etc.).

La **relación dosis/RfD** (o MRL) es un factor que resulta de dividir la dosis estimada entre la dosis de referencia (EPA) o la dosis de riesgo mínimo (ATSDR). Significa que entre más alto sea este factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso; la EPA denomina Índice de Peligro a esta relación. Además, la dosis estimada se puede comparar también con la NOAEL o LOAEL.

A diferencia de la caracterización del riesgo cancerígeno, aquí el riesgo individual no se multiplica por el tamaño de la población expuesta, ya que la relación dosis-respuesta no es lineal para todas las sustancias. Por lo tanto, en la caracterización de riesgo no cancerígeno el **tamaño de la población** sólo se apunta como un factor a considerar en la evaluación final.

5.5. Factores asociados al riesgo

En todos los sitios existen factores poblacionales, geográficos, climáticos, etc., que pueden alterar la exposición al contaminante o la toxicidad de éste. Tales factores deben anotarse en esta sección con una discusión de su significado. Para el caso de países en desarrollo existe un factor

que se deberá considerar en todas las situaciones: el factor nutricional. La desnutrición debilita las defensas naturales. Además, se ha descrito mayor absorción de algunos metales en individuos con dietas pobres en hierro, calcio o proteínas. Otro factor a considerar siempre es el de las enfermedades microbianas (su aplicación se describe en la INTRODUCCIÓN de este manual). Se deberá recolectar datos sobre nutrición y enfermedades microbianas, mediante entrevistas con el personal médico de la localidad. Asimismo, para el caso de los datos microbiológicos, se tomará en cuenta el resultado del análisis levantado en la sección de CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

5.6. Análisis final

Al final, el evaluador deberá contar con información de tres fuentes: la obtenida a partir de la caracterización del riesgo; la fuente obtenida al evaluar los factores asociados al riesgo; y los antecedentes bibliográficos sobre toxicidad y comportamiento de los contaminantes. Con toda esta información se deberá proceder a generar un esquema del riesgo. Es muy importante que en uno o dos párrafos el evaluador pueda presentar una panorámica global del problema. Para ello, son relevantes los números, así como los datos cualitativos. Se debe generar una evidencia del riesgo, cuyo sustento lo va a dar el peso de la información en su conjunto. Por ejemplo, los datos experimentales sobre toxicidad, que todavía no han sido corroborados en humanos, podrían ser útiles a partir del uso del principio precautorio. Se reitera que el evaluador deberá tomar en cuenta toda la información en su conjunto y no se deberá basar solamente en una línea de investigación.

6. Conclusiones y recomendaciones

Por lo menos para cada sección se deberá establecer una conclusión y, de ser necesaria, una recomendación sobre medidas o programas que se pudiesen establecer para disminuir la exposición a los contaminantes y por consiguiente el riesgo en salud. Una recomendación siempre útil es que en los sitios se organicen procedimientos para comunicar el riesgo a la población. Para esto se deberá aclarar en todo momento las limitaciones y alcances reales de la fase de INSPECCIÓN.

7. Calificación de los sitios

Los datos obtenidos de la INSPECCIÓN se emplean para calificar el sitio, según el formato del **anexo 2**. De acuerdo con su puntaje, los sitios se clasificarán en cualquiera de las siguientes categorías:

1. Urgencia ambiental y de salud pública (75 a 100 puntos). El sitio requiere restauración inmediata y se deberían generar en el corto plazo datos sobre la evaluación de la exposición.
2. Riesgo ambiental y de salud pública (40-74 puntos). El sitio requiere de una evaluación de la exposición. Los resultados de dicho análisis determinarán el nivel de intervención requerido para la restauración del área estudiada.
3. Mínimo riesgo ambiental y de salud pública (0-39 puntos). El sitio no requiere un análisis más profundo. Sin embargo, se desarrollará un programa de vigilancia ambiental para evitar un riesgo futuro.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN EN SITIOS PELIGROSOS

Esta parte de la metodología tiene como objetivo reunir la información necesaria para definir el nivel de exposición a los contaminantes en la población de un sitio peligroso. La evaluación de la exposición se compone de 10 fases: antecedentes del sitio, contaminación ambiental, selección de contaminantes críticos, análisis de rutas de exposición, estimación del riesgo en salud, evaluación de biomarcadores de exposición, estudio de biomarcadores nutricionales, análisis microbiológico, análisis de datos estadísticos de salud, y conclusiones y recomendaciones.

La evaluación de la exposición que aquí se propone, representa una modificación del método para la evaluación de salud descrito por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades (ATSDR). Por consiguiente, se invita al lector a revisar el manual correspondiente (se puede adquirir una traducción al español de este manual, a través de los servicios del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS).

1. Antecedentes del sitio

1.1. Descripción del sitio

La información debe buscarse en diversas fuentes, incluyendo las oficiales, las universitarias, las de consultorías privadas, etc. Durante la visita al sitio (ver más adelante), podrá corroborarse o completarse la información obtenida.

1.1.1. Nombre del sitio

Deben incluirse el nombre oficial y la denominación popular.

1.1.2. Ubicación del sitio

La información de este punto se deberá complementar con un mapa donde se señale claramente la localización y el área de influencia del sitio. Siempre es importante referir la ubicación a un punto geográfico conocido, como una ciudad, río, etc.

1.1.3. Tipo de sitio

Exponer la descripción que mejor se acerque a la realidad del sitio. Por ejemplo, campo agrícola; zona minera; área industrial; microindustria (especificando el tipo); depósito no controlado (de residuos sólidos o líquidos, residuos industriales, urbanos, hospitalarios, etc.); área impactada por contaminación natural (especificación), etc.

1.1.4. Información oficial sobre los tóxicos presentes en el sitio.

Para la mayoría de los sitios, es poco probable que exista este tipo de información. Sin embargo, en caso de que la hubiere, es de suma importancia que esta información incluya datos que permitan establecer la calidad y, por ende, la confiabilidad de la misma. En caso de no contarse con esta información, el evaluador deberá anotarlo en su informe.

1.1.5. Descripción del proceso contaminante o del origen de la contaminación

Al respecto es importante considerar que en algunos casos el origen de la contaminación se encuentra alejada del sitio. Por ejemplo, el origen de la contaminación de un lago puede estar

gradiente arriba de algún río afluente de él.

1.1.6. Actividades que se desempeñan en el sitio

Se deberán incluir las actividades económicas (industriales, comerciales, agropecuarias, etc.) y las recreativas (natación en ríos, cacería, campos deportivos, etc.). Para la evaluación de la exposición, es necesario que las actividades incluyan temporalidad (por ejemplo, en épocas de vacaciones, sólo los fines de semana, ocho horas diarias, etc.). Para estimar el riesgo de la exposición a los residuos, se deben describir los usos del suelo pasados, presentes y futuros (zona industrial, residencial, comercial, recreativa, agrícola, etc.).

1.1.7. Descripción de barreras que impidan el acceso al sitio

El libre acceso al área contaminada permite la exposición de la población a las sustancias químicas. Por ejemplo, en un lugar donde hubiese residuos industriales almacenados en tambos, los pobladores podrían entrar en contacto con los residuos al utilizar dichos tambos para almacenar agua potable.

1.2. Historia del sitio

Esta sección tiene como objetivo la recopilación de información para contestar estas preguntas:

- ¿Cuál es el origen de la contaminación?
- ¿Desde cuándo existe la contaminación en el sitio?
- ¿La contaminación ha sido siempre la misma?
- ¿Desde cuándo ha ocurrido la exposición humana a los contaminantes?

1.2.1 Inicio de operaciones de la fuente contaminante o de la contaminación

Probablemente en algunas ocasiones, la fecha de los eventos se deberá obtener de entrevistas efectuadas con pobladores del lugar. En tal caso se deberá verificar la fecha mediante entrevistas con dos o más personas independientes.

1.2.2 Eventos desde el inicio de operación (y/o de la contaminación)

Se deberán registrar todos los acontecimientos significativos que hayan determinado el tipo de contaminación a través del tiempo. Por ejemplo, ¿la contaminación ha sido siempre del mismo tipo? ¿han existido otras fuentes contaminantes, ahora clausuradas o abatidas? ¿el sitio ha tenido siempre el mismo uso de suelo? ¿dónde almacenaban los residuos décadas atrás? ¿han existido fugas del contaminante?

1.2.3 Historia de actividades humanas relacionadas con el área contaminada

Se deberán registrar todos los acontecimientos que determinen el tipo de exposición humana a los contaminantes del sitio. Por ejemplo, ¿existían áreas de recreación en las zonas contaminadas? ¿habían campos agrícolas en las áreas ahora urbanizadas?

1.2.4 Acciones realizadas para remediar el problema de contaminación

En algunos sitios se podrían haber llevado a cabo acciones de restauración parcial o total importantes para definir el actual riesgo del sitio. Por ejemplo, pavimentación de zonas sobre suelo contaminado, confinamiento de tambos con material peligroso, etc. Las acciones de restauración deben tomarse en cuenta ya que podrían ocurrir en situaciones de emergencia y por ende no ser

las más adecuadas. En uno de los ejemplos anteriores, el almacenamiento de los tambos en las celdas podría haber ocurrido en condiciones no controladas o que las celdas estuviesen construidas con material permeable que facilite en el futuro la lixiviación de los residuos.

1.3. Información demográfica

La información de esta sección se debe obtener a partir de los datos censales. Sin embargo, siempre que sea posible, durante la visita al sitio se debe verificar la información obtenida.

Los objetivos de la información demográfica son: (1) definir la magnitud de la población mayormente expuesta; y (2) establecer con detalle la distribución por edades, sexo y grupos étnicos. Un buen inicio es la obtención de información sobre guarderías, jardines de niños, escuelas primarias, hospitales, asilos, principal actividad ocupacional en la zona, etc.

Del censo deberá obtenerse la siguiente información:

- Grupos de edad
- Nivel socioeconómico
- Tipos de vivienda (incluyendo origen y tipo del material de construcción)
- Nivel educativo
- Acceso a drenaje y a agua potable.

Esta información se deberá obtener para los siguientes tipos de poblaciones: (1) población o comunidad más cercana gradiente abajo y gradiente arriba del sitio. (2) Poblaciones o comunidades dentro de radios de distancia de uno y tres kilómetros.

1.4. Información geográfica

Para esta sección es de suma utilidad la información que pueda obtenerse de las instituciones oficiales (por ejemplo, en México sería el caso del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).

1.4.1. Terreno

Se deberá recopilar información topográfica del sitio e información relevante para el transporte y destino de los contaminantes. Por ejemplo, presencia de fracturas geológicas que pudiesen conectar a la superficie con cuerpos de agua profunda; cavernas o deformaciones del terreno donde podría haber almacenamiento clandestino de residuos peligrosos o basura municipal; características del terreno que posibiliten la generación de corrientes de agua en épocas de lluvia, etc.

1.4.2 Suelo

Este punto deberá centrar la información en el tipo de suelo y en datos sobre la cubierta vegetal. Atención con la historia sobre aplicación de plaguicidas.

1.4.2 Agua superficial

Se requiere su clasificación (arroyo intermitente, río, lago, etc.); información sobre sus usos (consumo humano, agrícola, abrevadero, pesca, recreación, lavado de ropa, etc.); datos sobre descargas industriales, agrícolas, urbanas, etc.; antecedentes sobre inundaciones en los últimos años; en caso de que las inundaciones sean frecuentes: ¿el sedimento ha contaminado el suelo?

1.4.3 Agua subterránea

Clasificación (acuífero no confinado, semiconfinado o confinado); dirección de la corriente subterránea; antigüedad, localización, profundidad y usos de los pozos ubicados en la región; ¿puede contaminarse el acuífero por el material presente en la superficie? ¿existen datos de sobreexplotación del acuífero? ¿podría estar el acuífero superficial en contacto con el acuífero profundo a través de los pozos? En caso de que no haya antecedentes en la zona del sitio, se deberá examinar la información oficial existente sobre la región. La dirección de la corriente subterránea puede estimarse sobre la base del nivel del agua en los pozos profundos del área.

1.4.4 Recursos naturales (flora, fauna, etc.)

¿Puede existir contaminación de la flora y fauna? ¿Pueden llegar los contaminantes a la cadena alimentaria del hombre? ¿Es el material contaminado fuente alimenticia de la comunidad? ¿El material contaminado se emplea para las actividades del hogar (coccción de alimentos, baño diario, etc.)?

1.4.5 Datos meteorológicos relevantes

Promedio anual de precipitación pluvial; época de lluvia máxima y de estiaje (secas); temperatura promedio anual; época de frío y de calor; dirección de vientos predominantes (rosa de vientos); cambios de vientos según las épocas del año; otros datos relevantes del sitio.

1.5. Datos microbiológicos

Esta sección se incluye por separado por su importancia para el impacto en salud. En muchos sitios, la contaminación microbiológica podría estar generando más enfermedades que la contaminación química. Por lo tanto, si se realiza un estudio y no se considera el problema microbiológico, podría ocurrir que la población perdiese el interés por cooperar. Además, existe la posibilidad de que los individuos con padecimientos microbianos sean más susceptibles a los contaminantes químicos.

El evaluador deberá establecer un panorama preciso sobre las condiciones imperantes en el sitio, mediante las cuales se pueden presentar las infecciones microbiológicas en la población. Para ello, es necesario obtener información sobre los siguientes puntos:

- Higiene general
- Fecalismo al aire libre
- ¿Hierven el agua?
- Hacinamiento familiar
- Estado de la nutrición y nivel educativo
- Presencia de cuerpos de agua contaminados con descargas urbanas
- Riego de campos agrícolas con aguas residuales
- Presencia de vectores (por ejemplo en zonas propensas al paludismo)
- Quejas de la población (verificadas mediante entrevistas con personal médico local)
- Acceso a drenaje
- Acceso al agua potable
- Manejo de la basura
- Accesibilidad a servicios médicos adecuados.

1.6. Visita al sitio

Además de corroborar y/o complementar la información sobre los puntos anteriores, la visita al sitio tiene dos objetivos más: (1) obtener información sobre las preocupaciones de la comunidad con respecto a la situación ambiental del sitio en estudio y (2) efectuar una determinación preliminar de las rutas de exposición de mayor importancia para dicho sitio.

1.6.1. Preocupaciones de la comunidad

La interacción con la comunidad es clave para el buen desarrollo del estudio. Los miembros de la comunidad afectada deben estar enterados de los trabajos que se realizarán en el sitio. Para ello, se deberán buscar las mejores estrategias de comunicación de riesgo, dentro de las cuales obviamente se incluye la honestidad y el uso de un lenguaje claro y franco. El evaluador debe establecer un listado de las preocupaciones comunitarias relacionadas con el sitio, en materia de contaminación, salud y estrategias de limpieza. Se recomienda recopilar la información publicada en los medios locales de comunicación, para lo que se sugiere ignorar las noticias sin sustento. Asimismo, se deben efectuar entrevistas con miembros de la comunidad, autoridades locales y personal médico de la región (poner atención a las clínicas rurales de salud). Si el evaluador realizó una buena labor en este punto, al final deberá contar con un listado de las preocupaciones de la comunidad en lo referente a los riesgos en la salud asociados al sitio contaminado y con una visión clara del sentir comunitario sobre cómo debe manejarse el problema del área en estudio.

1.6.2. Análisis preliminar de las rutas de exposición

En este mismo capítulo, se definen con precisión los componentes de una ruta de exposición. El evaluador deberá comprender a la perfección el significado de cada uno de estos componentes, para establecer durante la visita al sitio el número de rutas de exposición posibles; tendrá que verificar las fuentes contaminantes (dentro y fuera del sitio); los medios ambientales que pudiesen estar contaminados (durante la visita podría haber derrames, olores, etc.); los puntos de exposición de mayor riesgo (áreas recreacionales en centros escolares, pozos, etc.); las vías de exposición más probables y la población de alto riesgo. Si el evaluador logra determinar las rutas de exposición durante la visita, el análisis de contaminación tendrá más éxito y, por ende, el estudio adquirirá la calidad requerida para definir el riesgo en salud.

2. Contaminación ambiental

En la etapa de la EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN, se estudiarán los contaminantes en todas las posibles rutas, las que pueden haberse registrado dentro o fuera del sitio.

2.1. Muestreo

Es de suma importancia que el muestreo se realice bajo normas de calidad. Por consiguiente, se invita al lector a consultar manuales profesionales de muestreo, como los de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) o el manual del Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (ECO), ahora disponible en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

El muestreo deberá ser completo (todos los medios del ambiente) y representativo (número de muestras estadísticamente suficientes para evaluar de manera adecuada cada medio analizado). Todo contaminante detectado dentro del sitio deberá ser buscado fuera del sitio. Todo contaminante ubicado dentro de algún medio ambiental deberá buscarse en otros medios ambientales, siempre

que sus características fisicoquímicas así lo indiquen. Es muy importante que los primeros puntos a muestrear sean los que representen mayores riesgos de salud. Estos lugares son los puntos de exposición donde los contaminantes entran en contacto con la comunidad afectada.

Para cuerpos de agua superficial, se requiere el análisis gradiente arriba de la supuesta fuente contaminante y el análisis gradiente abajo de todos los puntos de exposición posibles (especial atención con los puntos donde el agua se utiliza para consumo humano, recreación, limpieza de ropa, etc.). Los análisis más importantes son los que se realizan en muestras sin filtrar. Además, es importante que la colecta de muestras considere los periodos estacionales, esto es, épocas de lluvias y de secas. Es muy importante contar con información sobre el pH. Siempre que se analice un cuerpo de agua superficial, se deberá obtener información de los sedimentos. Éstos serán muestras simples y superficiales (0-5 cm), gradiente arriba y gradiente abajo, en los puntos de exposición humana. Se deben plantear dos interrogantes cuando exista contaminación de agua superficial: ¿los individuos se alimentan de fauna acuática en este sitio? ¿el contaminante se bioconcentra y/o biomagnifica?

Los acuíferos son uno de los medios que más se contaminan en los sitios peligrosos. Por lo tanto, deberán ser monitoreados no sólo a través de los pozos construidos por el hombre, sino también colectando muestras de manantiales, ojos de agua, etc. Dada la naturaleza heterogénea de los acuíferos, éstos se deberán analizar por lo menos tres veces al año. Es muy importante hacer la referencia de que los niveles de metales en acuíferos se podrán comparar con valores de referencia (por ejemplo, los de la EPA), sólo en caso de que las muestras no sean filtradas. Los muestreos de acuíferos se deben completar con algunos análisis de muestras de grifos caseros, ya que la concentración del contaminante en éstos puede variar con respecto al valor encontrado en el pozo o manantial.

Para aire se deben considerar los compuestos orgánicos volátiles, gases y partículas suspendidas. Los puntos de muestreo deben tomar en cuenta las actividades industriales dentro y fuera del sitio, así como las condiciones meteorológicas prevalentes. Es factible que pueda requerirse del modelaje para identificar los puntos más probables de contaminación (siempre se deberán tomar muestras de aire ambiental). Las muestras de aire se colectarán bajo un esquema de 24 horas en un calendario que considere todas las condiciones meteorológicas a lo largo de un año. Cada muestreo debe considerar el registro de las actividades en el sitio y la información meteorológica al momento de la colecta. Las muestras se deben tomar a la altura de la zona respiratoria, esto es, 1.2-1.5 metros sobre la superficie. En caso de ocurrir contaminación por orgánicos volátiles, podría ser importante la toma de muestras del gas en el subsuelo. En el caso de sitios muy contaminados, podría ser necesaria la toma de muestras al interior de las residencias.

Teniendo como objetivo la evaluación de la exposición (sobre todo en la población infantil), las muestras de suelo deberán ser simples y superficiales (0-5 cm), colectadas en áreas contaminadas y en áreas “libres” de contaminantes. Para el muestreo en áreas urbanas, es muy importante notar si no ha existido remoción o intercambio de suelo como resultado de obras de urbanización. La colecta contemplará la época fría en sitios que con frecuencia son afectados por la nieve, y la época de lluvias en sitios normalmente impactados por inundaciones o por corrientes superficiales. Se podrían colectar muestras de suelo a mayor profundidad para definir el nivel de contaminación, para lo cual se debe recordar que el suelo puede ser fuente de contaminantes para los acuíferos.

Las muestras de polvo residencial se colectarán en aquellos sitios peligrosos con las condiciones para que los contaminantes se transporten del exterior al interior de las residencias. Este es el caso por ejemplo de un sitio metalúrgico, donde el suelo contaminado con metales se podría transportar a través del viento. Antes de proceder a la colecta de polvo residencial, se deberá generar un mapa de la residencia, donde se apuntará con precisión los puntos más frecuentados

por la población infantil.

En cuanto a los alimentos, se analizarán muestras de origen vegetal y animal de los alimentos producidos en la zona y de aquellos de consumo frecuente por la población, aunque vengan de zonas alejadas al sitio. Es importante incluir, además de las fuentes agrícolas, los alimentos generados por la pesca y la caza. Especial atención se deberá tener con la leche y sus derivados, ya que esta fuente puede contener altas concentraciones de algunos contaminantes. Cuando exista contaminación en los sedimentos, se deberá tener cuidado en muestrear peces que entran en contacto con este medio y no peces cuyos alimentos se obtengan de la columna de agua. Cuando se maneja material biológico, se deberá considerar que se requiere tejido fresco para el análisis de algunos contaminantes. Asimismo en cuanto a alimentos se refiere, es muy importante establecer un muestreo representativo. Por ejemplo, ATSDR recomienda 20 muestras/especie/evento de contaminación.

En todos los medios estudiados siempre se deberá coleccionar muestras basales que indiquen los niveles de sustancias naturales del sitio (por ejemplo, metales en zonas mineras). El evaluador deberá establecer durante la visita al sitio, los puntos más apropiados para dicho muestreo. En cualquier caso, los valores basales no deben superar el valor de referencia que se utilice para la selección de los contaminantes críticos. Esto se detalla más adelante.

2.2. Análisis de laboratorio

Para la evaluación de la exposición se requiere el análisis cuantitativo de los contaminantes, para lo cual se deberán utilizar los métodos de laboratorio más adecuados y los procedimientos de control de calidad más estrictos. En todos los sitios se encontrará alguno de los tres tipos de contaminación más importantes: por compuestos inorgánicos, por compuestos orgánicos y por contaminantes biológicos (microorganismos). Estos últimos se tratan en una sección aparte.

Con referencia a los compuestos inorgánicos, los métodos más populares utilizan la espectrofotometría de absorción atómica y la espectrometría de emisión de plasma, aunque la voltametría es ampliamente empleada en algunos países. En cuanto a los compuestos orgánicos, los métodos cromatográficos dependerán del tipo de compuesto, esto es, volátiles, semivolátiles y/o compuestos polares.

Independientemente del equipo, es importante enfatizar que el método a utilizar debe tener un límite de detección adecuado al medio ambiental que se esté analizando. Por ejemplo, la detección de metales en suelos contaminados por lo general se realiza por espectrofotometría de absorción atómica bajo el método de flama, pero este método no es el adecuado para muchas muestras de agua, en cuyo caso se utiliza el horno de grafito o el generador de hidruros, según el metal a cuantificar. Para compuestos orgánicos ocurre lo mismo, los semivolátiles podrán cuantificarse por cromatografía de gases-masas, pero los volátiles requieren accesorios especiales, como el equipo de purga y trampa o el equipo de "headspace". Se enfatiza la necesidad de contar con equipo adecuado, porque muchas veces los laboratorios desarrollan métodos ad hoc a sus condiciones y no realizan el esfuerzo de contar con buenas condiciones para satisfacer los métodos ya valorados y disponibles en la literatura científica. Una buena evaluación del riesgo se sustenta en una buena generación de datos.

2.3. Control de calidad

Además de contar con el equipo idóneo, el laboratorio debe contar con buenas prácticas. De nada sirve un equipo de alta calidad sin laboratoristas altamente capacitados. La colecta y la preparación de las muestras para su análisis requieren la misma atención que el análisis.

Para la colecta de la muestra, se recomienda seguir los métodos ya descritos: (1) utilizar frascos de vidrio para compuestos orgánicos y frascos de plástico para inorgánicos; se lavan previamente ambos tipos de frascos, inclusive con ácidos para el caso de metales; (2) acidular las muestras para orgánicos y acidificar las muestras para inorgánicos; (3) decidir si se van a tomar muestras filtradas o no; (4) adicionar blancos de campo para controlar el porcentaje de recuperación, sobre la base de la pérdida de contaminante durante el transporte de la muestra al laboratorio; (5) en caso necesario, utilizar refrigerantes para el transporte de muestra; etc.

En lo referente a las prácticas de control de calidad altamente recomendables para el laboratorio, se pueden señalar dos: control de calidad externo y uso de matrices certificadas. Con respecto al control de calidad externo, la mejor práctica es que el laboratorio que establezca el método, certifique su recuperación y reproducibilidad ante otro laboratorio con experiencia en dicho método. Por su parte, las matrices certificadas pueden servir también para la vigilancia del trabajo diario. Durante cada determinado número de muestras problema, se puede analizar una muestra certificada que haya sido tratada de manera idéntica al problema. Así, se vigila diariamente la calidad del método analítico. Las matrices certificadas se pueden adquirir de fuentes comerciales en los Estados Unidos, Japón o Europa. En el caso de que no exista matriz certificada para determinado contaminante, entre varios laboratorios se puede generar una propia matriz.

La información a obtener o la que se analice a partir de otras fuentes informativas, deberá contener por lo menos los siguientes puntos:

- Fecha de muestreo
- Diseño y representatividad del muestreo
- Localización de los puntos de muestreo
- Contaminante
- Medio del ambiente analizado
- Valores promedio (media y mediana, con desviación o error estándares)
- Concentraciones mínimas y máximas
- Método de laboratorio utilizado
- Programa de control de calidad empleado en el estudio (con énfasis en el porcentaje de recuperación para el contaminante en la matriz analizada).

3. Selección de contaminantes críticos

Al igual que en la fase de INSPECCIÓN, el primer fundamento para calificar a los contaminantes como críticos es la comparación de su concentración ambiental frente al valor estimado de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG) para un medio específico. El cálculo de la EMEG se explica detalladamente en el Capítulo 2 de este manual. En la siguiente tabla se presentan otros criterios que pueden seguirse para la selección de contaminantes críticos.

FUNDAMENTOS PARA DEFINIR LOS CONTAMINANTES CRÍTICOS

1. Su concentración en alguno de los medios del ambiente supera la EMEG, la concentración basal, o algún otro valor de referencia empleado.
2. Se encuentran en más de un medio ambiental.
3. Son capaces de interactuar toxicológicamente con otro contaminante del sitio (incrementando su toxicidad).
4. No se cuenta con información científica suficiente para caracterizar su toxicidad.
5. Generan preocupación social.

Tal como se muestra en el cuadro anterior, aunque no se supere la EMEG (o el valor de referencia utilizado), existen otros criterios que podrían tomarse en cuenta para calificar a los contaminantes como críticos.

3.1. Presencia en más de un medio

Aunque el contaminante no supere su respectiva EMEG, sería considerado como crítico si se detectara en más de un medio. Este criterio se fundamenta ante la posibilidad de que la dosis total de exposición, resultante de la sumatoria de la exposición a los diversos medios, pudiese representar un riesgo a la salud.

3.2 Interacción toxicológica con otros contaminantes

En algunos casos, la presencia de un contaminante puede afectar la toxicidad de un segundo contaminante. Los casos descritos en la literatura son escasos pero existen. Por lo tanto, el evaluador deberá estar actualizado en cuanto a la información toxicológica para definir si su contaminante presenta estas características, en cuyo caso servirá para considerarlo como crítico.

3.3 Carencia de información toxicológica sobre el contaminante

En la actualidad no existe información toxicológica suficiente para 80% de las sustancias químicas comunes al hombre. Por consiguiente, en algún sitio peligroso podría darse el caso de que los análisis detecten sustancias cuya información toxicológica sea insuficiente. En estos casos, las sustancias se deberán considerar como de máximo riesgo, ante la posibilidad de que pudieran ser tóxicas para el hombre. Por lo tanto, se les calificará como críticas para el sitio.

3.4 Preocupación social

Si el contaminante está originando temor en la población afectada por el sitio peligroso, deberá ser calificado como crítico, aunque no reúna el resto de los criterios para calificarlo como tal.

SÓLO LOS CONTAMINANTES CRÍTICOS SERÁN CONSIDERADOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN Y PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO

4. Análisis de las rutas de exposición

El concepto de ruta de exposición se refiere al camino que sigue el contaminante desde su fuente hasta la población. Toda ruta comprende por tanto estos componentes:

1. FUENTE DE CONTAMINACIÓN. Fuente que emite contaminantes al ambiente.
2. MEDIO AMBIENTAL. Aire, agua, suelo, polvo, alimento, etc., medio responsable de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición.
3. PUNTO DE EXPOSICIÓN. Lugar donde la población entra en contacto con los contaminantes (pozos profundos, área de recreación infantil, grifos caseros, etc.).
4. VÍA DE EXPOSICIÓN. Inhalación (aire, partículas finas), ingesta (agua, tierra, alimento, polvo), absorción dérmica, etc.
5. POBLACIÓN RECEPTORA. Personas expuestas a los contaminantes. La población receptora es entonces la población expuesta.

La identificación de las rutas de exposición es el punto medular del método, ya que la ruta es el camino que sigue el contaminante para llegar al hombre. Por consiguiente, cualquier programa de restauración se deberá centrar en el abatimiento de las rutas más importantes. A través de la identificación de los componentes de las rutas de exposición, se pueden diseñar las barreras que impidan la exposición humana a los contaminantes críticos.

El evaluador deberá identificar las rutas con un nombre que claramente las distinga. En algunos casos, el nombre puede ser el medio del ambiente involucrado en la ruta. Sin embargo esto no es siempre aconsejable ya que, como se verá en el siguiente párrafo, dos rutas podrían compartir el mismo medio (por ejemplo: suelo superficial en una ruta dentro de un centro escolar y suelo superficial en una ruta en un patio casero).

Dos o más rutas pueden compartir elementos. Por ejemplo, es común que diferentes rutas compartan la misma fuente de contaminación. Pero son más importantes las rutas que comparten idéntica población receptora. Un individuo podría estar expuesto a un mismo contaminante a través de diversas rutas. En este caso, la dosis total de exposición sería la sumatoria de las dosis de todas las rutas y dicha sumatoria podría llegar a superar el nivel tóxico del contaminante, lo que representaría un riesgo para la salud de dicho individuo.

Asimismo, debe considerarse la posibilidad de que en algunos casos los elementos de una ruta no estén bien definidos. Cuando a una ruta le falte alguno de sus elementos, se le denominará ruta potencial y quedará a criterio del evaluador considerarla como una ruta importante. Por ejemplo, el suelo contaminado en una zona sin población expuesta al momento del estudio es una ruta potencial. La importancia de su identificación es que esta zona contaminada no debería tener vocación residencial (situación que en un ejercicio real debería mencionarse en la sección de recomendaciones).

Una vez seleccionados los contaminantes críticos en cada uno de los medios ambientales, el evaluador deberá señalar todas las rutas de exposición completas o potenciales de importancia, las cuales podrían existir en el sitio o fuera de él. La importancia de las rutas se determinará por los siguientes puntos:

1. Número de personas afectadas por la ruta y características demográficas por sexo y edad.
2. Cantidad de contaminantes críticos identificados en la ruta.
3. Rutas que comparten la misma población receptora.

Para facilitar la fase de evaluación de rutas de exposición, el evaluador puede utilizar los siguientes formatos:

FORMATO 1 (ejemplo)

NOMBRE DE LA RUTA	FUENTE	MEDIO DEL AMBIENTE	PUNTO DE EXPOSICIÓN	POBLACIÓN RECEPTORA	POBLACIÓN PASADA, PRESENTE O FUTURA	POBLACIÓN COMPLETA O POTENCIAL
TAMBOS	basurero	suelo	basurero	niños	presente	completa
AIRE	basurero	aire	aire de la comunidad	todos los miembros	presente	completa

FORMATO 2 (ejemplo)

NOMBRE DE LA RUTA	CONTAMINANTES CRÍTICOS	NÚMERO DE NIÑOS EXPUESTOS	NÚMERO DE JÓVENES EXPUESTOS	NÚMERO DE MUJERES EN EDAD FÉRTIL	NÚMERO DE ADULTOS EXPUESTOS	NÚMERO DE ANCIANOS EXPUESTOS
TAMBOS	ARSÉNICO BENCENO	100	---	---	---	---
AIRE	BENCENO HEXANO	1.200	600	535	1.790	329

5. Estimación del riesgo en la salud

Al igual que en la etapa de INSPECCIÓN, en la EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN se hará uso de cálculos matemáticos para estimar la exposición. La diferencia es que en esta fase se realizará la estimación para cada una de las rutas identificadas. Al final se suman las dosis de exposición de cada ruta para obtener la dosis total de exposición, que será la dosis a utilizar en la caracterización del riesgo. Se invita al lector a repasar los fundamentos de la estimación de la exposición que se presentan en el Capítulo 2. A continuación se expondrán solamente algunos detalles complementarios.

5.1. Identificación del contaminante

En la etapa de INSPECCIÓN se requiere responder algunas interrogantes. En la etapa de EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN las respuestas a tales preguntas serán empleadas a manera de resumen, dado que la información a presentar sería una recopilación de la expuesta en la sección correspondiente al análisis de las rutas de exposición.

5.2. Análisis dosis-respuesta

El evaluador deberá obtener información de la RfD a partir del banco de datos IRIS, y podría también obtener información del MRL a partir del banco de datos de la ATSDR. La información numérica generalmente se acompaña de los estudios que originaron la dosis de referencia o la dosis

de riesgo mínimo. Es decir, junto al valor de la dosis se puede obtener información sobre el efecto seleccionado para su cálculo. Luego de contarse con estos datos, el evaluador deberá tratar de obtener la NOAEL (la mayor dosis en la cual no se ha observado efecto adverso alguno para el padecimiento seleccionado) y la LOAEL (mínima dosis en la cual ya se observó algún efecto adverso). Las tres dosis (RfD, NOAEL y LOAEL) deben ser para la misma vía (oral, dérmica o inhalatoria) y para el mismo efecto o padecimiento. Aunado a lo anterior, es importante recuperar la información sobre la NOAEL y/o la LOAEL de otros padecimientos. Se debe recordar que en esta etapa la caracterización del riesgo tomará en cuenta la dosis total de exposición y no solamente la dosis oral o inhalatoria.

5.3. Estimación de la exposición

Como el título lo indica, en esta sección se busca conocer aproximadamente la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto. La estimación se obtiene a través de fórmulas que se explican con detalle en el Capítulo 2. Para estimar la exposición en su etapa de evaluación se siguen algunas reglas simples:

1. Tomar en cuenta sólo los contaminantes críticos.
2. Considerar todas las rutas de exposición.
3. Obtener la dosis de exposición para cada ruta (para infante y adulto), para lo cual se utilizan los valores promedio y la máxima concentración encontrada para cada contaminante (seguir las indicaciones descritas en el Capítulo 2).
4. Calcular la dosis total de exposición promedio y de exposición máxima, para lo que se suman las dosis estimadas para cada ruta.

5.4. Caracterización del riesgo

Para la evaluación de la exposición se asume el máximo riesgo posible. Esto implicaría que una vez absorbidos, los contaminantes tengan la misma toxicidad, independientemente de la vía de exposición. Es decir, la caracterización del riesgo se estima con base en la dosis total y no en la dosis específica según vía. Por ejemplo, si el dato de RfD obtenido de la literatura es para exposición oral, se comparará esta RfD frente a la dosis total de exposición, aunque esta dosis incluya la exposición por vía inhalatoria. La única excepción será cuando sólo se cuente con RfD inhalatorio y el padecimiento registrado sea en el tracto respiratorio (en este caso se supone una acción directa del contaminante con el tejido respiratorio, hecho que podría no ocurrir fácilmente vía exposición oral).

Se conoce que la estrategia planteada en el párrafo anterior podría ocasionar una sobreestimación del riesgo para algunos padecimientos que son específicos de vía. Sin embargo, como la información toxicológica es tan pobre para la gran mayoría de los contaminantes, ante la incertidumbre se ha preferido la probabilidad de sobreestimar el riesgo para asegurar una protección de la comunidad expuesta. La caracterización de riesgo se calcula para efectos cancerígenos y no cancerígenos, sobre la base de la dosis total promedio y la máxima dosis.

5.4.1 Caracterización del riesgo cancerígeno

Se invita al lector a revisar el procedimiento descrito en el Capítulo 2.

En esta etapa sólo se utilizará el Factor de Potencia Carcinogénica (FPC) y se reitera la importancia de que el cálculo emplee sólo las dosis estimadas para la población adulta. Un punto

por demás relevante es tomar en consideración la fracción de tiempo durante el cual estuvo expuesta la población al cancerígeno.

Ejemplo

1. Dosis total de exposición estimada para una población adulta = 3×10^{-3} mg/kg/día
2. Factor de Potencia Carcinogénica = 2 mg/kg/día^{-1}
3. Tiempo durante el cual estuvo la población expuesta al cancerígeno = 2 años
4. Cálculo del riesgo individual = $(3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/día}) (2 \text{ mg/kg/día}^{-1}) (2/70) = 1.7 \times 10^{-4}$

Nótese que en este ejemplo el factor de exposición 2/70 se toma en cuenta porque la exposición se registró sólo durante dos años en toda la vida (para efectos crónicos se consideran 70 años).

5.4.2 Caracterización del riesgo no cancerígeno

Se invita al lector a revisar el procedimiento descrito en el Capítulo 2. En este caso se caracterizará el riesgo para la población infantil y adulta. Se debe considerar que los padecimientos podrían no ser los mismos (por ejemplo, en cuanto a la exposición al plomo, el efecto de este tóxico sobre el sistema nervioso es diferente en niños y adultos).

La caracterización del riesgo no cancerígeno contempla información en tres puntos:

1. Severidad del efecto en salud. Para este punto se destacará el padecimiento considerado por el evaluador como el de mayor importancia. Para ello, se comparará la dosis total de exposición contra el NOAEL o LOAEL de este padecimiento.
2. Relación dosis estimada / RfD (o MRL). Como dosis estimada se utilizará la dosis total de exposición.
3. Población expuesta.

6. Monitoreo biológico (biomarcadores de exposición)

La exposición puede estimarse y evaluarse. La ESTIMACIÓN se fundamenta en la obtención de datos ambientales utilizados para alimentar fórmulas matemáticas, con el fin de calcular una dosis aproximada de exposición. Este camino asume un comportamiento estandarizado para toda la población. Las incertidumbres en cuanto a toxicidad, biodisponibilidad y otros factores, se resuelven asumiendo máximo riesgo.

Por el contrario, la EVALUACIÓN de la exposición implica la cuantificación de biomarcadores químicos para certificar la absorción de los contaminantes en la población expuesta. Un biomarcador por lo general es el propio contaminante o alguno de sus metabolitos, capaz de ser cuantificado en tejidos (adiposo, pelo, placenta, etc.) y/o fluidos biológicos (sangre, saliva, orina, etc.). Los biomarcadores indican exposición y absorción, pero además algunos también pueden señalar efectos (por ejemplo, disminución de actividad colinesterásica en la sangre) o carga corporal del metal (ej. cadmio en el riñón, plomo en hueso).

Por lo tanto, en esta fase de la metodología se recomienda evaluar la exposición a través del análisis de biomarcadores de exposición. No obstante, deben considerarse factores propios del

individuo y del contaminante para definir cuál de los biomarcadores, tejidos o fluidos están más relacionados con la exposición. Además, se debe tomar en cuenta siempre los factores toxicocinéticos del biomarcador (ej. Cadmio en la sangre es biomarcador de exposición reciente y cadmio en la orina es biomarcador de exposición crónica). Resulta claro entonces que a la selección del biomarcador le debe preceder un ejercicio de análisis de la literatura para seleccionar el indicador biológico más adecuado a los objetivos de nuestro estudio.

Para definir el biomarcador que debe ser analizado entre la población expuesta en un sitio peligroso, se debe anticipar que por lo general estos sitios se encuentran contaminados por una mezcla de sustancias químicas. Esto es, ante la imposibilidad técnica y económica de evaluar la exposición para todas las sustancias presentes en un sitio, se debe generar un sistema que permita la categorización de las sustancias contaminantes, de forma que se evalúe la exposición sólo para aquellas que representen mayor riesgo.

A continuación se propone un esquema basado en cuatro parámetros:

1. Que sea un contaminante crítico.
2. Magnitud del riesgo cancerígeno. En el caso de que los contaminantes no sean cancerígenos, evaluar la relación: dosis total de exposición / RfD (o MRL)
3. Número de personas afectadas por el contaminante.
4. Preocupación social por el contaminante.

Con estos criterios, el evaluador podrá categorizar sus contaminantes críticos y tendrá fundamentos para seleccionar los de mayor riesgo. Una vez que los contaminantes críticos de mayor riesgo hayan sido seleccionados, se debe revisar la literatura científica para definir los biomarcadores más adecuados para su estudio. Para esto, es muy adecuada la serie de Perfiles Toxicológicos, de la ATSDR. Otra fuente relevante de datos es la información distribuida por la Organización Mundial de la Salud, en su serie Criterios de Salud Ambiental. Independientemente de la fuente, debe quedar claro que antes de iniciar los estudios, el evaluador deberá tener la seguridad de que el biomarcador a usar será el apropiado.

El análisis de biomarcadores en el laboratorio debe seguir la rigurosidad de calidad exigida a las muestras ambientales. Aún más, ante la alta probabilidad de no poder contar con matrices certificadas para muchos biomarcadores, se recomienda con énfasis la certificación de la calidad del análisis a través del control externo.

Es importante recordar que para los estudios de biomarcadores deben colectarse muestras humanas. Por lo tanto, se debe contar con la aprobación de un Comité de Bioética que revise los procedimientos a seguir durante la colecta. Asimismo, en todos los casos, se deberá solicitar por escrito el consentimiento del donador (cuando sea un adulto) o del padre o tutor del donador (cuando la colecta se realice entre la población infantil). En dicho consentimiento, quien autorice deberá tener conocimiento de los objetivos y alcances del estudio. Además, por ética, los estudios deberán ser voluntarios, anónimos y gratuitos, con el compromiso adicional de que tan pronto se obtengan los resultados en el laboratorio, los donadores conocerán los resultados de sus análisis y lo que significan para la salud del individuo.

Un punto que no puede escapar a la preparación de un estudio con biomarcadores es el tipo de población sujeta al estudio. ¿Cuántas muestras? ¿Cuáles son las condiciones de inclusión o exclusión que regulan la selección de individuos para un estudio? ¿Cuáles serán los criterios de representatividad? La contestación de éstas y otras preguntas deberán basarse en un análisis estadístico previo que permita el diseño epidemiológico del estudio.

Con respecto al diseño epidemiológico, debido al tiempo limitado para obtener información, se deberá escoger un diseño de corta duración. Entre los estudios descriptivos destaca el de prevalencia de exposición (proporción de personas expuestas que poseen un biomarcador alterado en relación al total de individuos estudiados). Sin embargo, puede optarse por métodos de estudio que involucren a una población control. De ser éste el caso, los métodos más populares serían los transversales (comparación de un grupo control con grupos expuestos a diferentes dosis del contaminante) y los de casos y controles (comparación del antecedente de exposición entre dos grupos; los criterios para definir un caso y un control dependerán del contaminante que se desee examinar y del efecto que se busque analizar).

En cuanto al tamaño de la población a estudiar, el número de individuos dependerá de dos factores: recursos económicos y tamaño total de la población afectada. Si ésta es pequeña y además se cuenta con buen apoyo económico, se podría dar el caso de poder estudiar a toda la población. Pero si la población es grande y los recursos limitados, habrá que seleccionar una muestra representativa. Para la selección ya existen métodos estadísticos computarizados que facilitan el cálculo del tamaño de muestra. Dependiendo de las características del estudio, existen varias técnicas para asegurar que el muestreo sea representativo, entre ellas: la selección aleatoria simple, la sistemática, la estratificada, por conglomerados, etc.

En el informe final, los datos sobre biomarcadores se deben presentar como una prueba de la exposición a los contaminantes. Por consiguiente, el evaluador buscará obtener una correlación entre ellos y el nivel de contaminación en el sitio, para lo cual tomará en cuenta la antigüedad de la contaminación, el tiempo de residencia de los individuos en el sitio, su tiempo de exposición al sitio peligroso, frecuencia y duración de la exposición, hábitos alimenticios (en el caso de que la ruta de exposición incluya alimentos), etc. Toda esta información y otra adicional se deberá recolectar a través de un cuestionario diseñado de manera específica para la comunidad a estudiar (edad, sexo, ocupación, tipo de vivienda, antecedentes de exposición, etc.).

Otro cuestionario que es muy importante incluir es el de posibles efectos adversos a la salud. A través de un interrogatorio sobre síntomas referidos en la bibliografía, se podrían obtener datos importantes sobre las condiciones generales de salud de los individuos expuestos. Asimismo, de contarse con el apoyo económico suficiente, podría realizarse un examen clínico y pruebas elementales de laboratorio (examen general de orina y sangre, niveles de enzimas hepáticas, etc.).

Asimismo, se deberán realizar todos los esfuerzos para entrevistar a los profesionales de la salud (médicos, enfermeras, etc.) que tengan mayor relación con el sitio. A través de este ejercicio, el evaluador deberá recabar información precisa sobre los principales problemas de la zona (ver sección 9 de este capítulo). Entre las preguntas que se le harían al profesional en salud estarían: su tiempo de residencia en el sitio, problemas de salud más frecuentes en el sitio, principales quejas en relación a problemas de salud, principales zonas de recreación utilizadas en el área por niños y adultos, conocimiento de algún individuo que haya tenido algún problema de salud relacionado con la exposición a alguno de los contaminantes críticos del sitio, conducta de los entrevistados o de la comunidad frente a los problemas de contaminación.

7. Monitoreo biológico (biomarcadores nutricionales)

El estado nutricional se encuentra muy relacionado con la capacidad de resistencia a los contaminantes ambientales. Por ejemplo, los nutrientes son esenciales para la síntesis de moléculas reductoras de radicales libres, como el glutatión y la metalotioneína. Además, se ha descrito que algunos iones, como el calcio y el hierro, son capaces de disminuir la absorción de contaminantes como el plomo, cadmio y manganeso. Un individuo con deficiencia nutricional es más susceptible a los efectos tóxicos de los químicos contaminantes.

En los países en desarrollo, la pobreza origina desnutrición. Lamentablemente, en estas naciones la pobreza también va ligada a los malos hábitos de higiene, falta de agua potable, limitada atención médica y construcción de viviendas en vecindad con sitios peligrosos. La relación pobreza-contaminación es una realidad que debe ser atendida de manera integral. Si bien la solución del factor pobreza requiere una política económica más que una metodología de riesgo en salud, los estudios de salud ambiental en este tipo de situaciones no pueden dejar de prestar atención a la desnutrición.

La evaluación nutricional es en extremo compleja, dada la gran cantidad de nutrientes susceptibles a ser estudiados y por la amplia variabilidad individual. No obstante, para simplificar los estudios se han seleccionado dos indicadores: el peso corporal y los niveles sanguíneos de hierro (incluyendo la capacidad de fijación). Habrá investigadores que consideren más adecuado el análisis de otros indicadores (por ejemplo, vitaminas). Esto es positivo, siempre y cuando dichos indicadores reflejen el estado nutricional de los individuos.

En nuestra experiencia, el peso corporal y las determinaciones de hierro han resultado positivas en niños expuestos a metales. Se deberá estudiar estos factores en otras comunidades y en ambientes contaminados por otras sustancias. La evaluación de los biomarcadores nutricionales se debe efectuar paralelamente al estudio de los biomarcadores de exposición. Esto es, ambos tipos de biomarcadores se deben analizar en los mismos individuos y de ser posible en la misma época.

En el informe final se buscará establecer el nivel nutricional de la comunidad expuesta y se tratará de correlacionar la exposición con el nivel de nutrición. Aquellos individuos desnutridos que además hubiesen registrado resultados positivos en cuanto a los biomarcadores de exposición, se deberán considerar como sujetos de alto riesgo. Para ellos se debe desarrollar programas de vigilancia epidemiológica.

8. Evaluación microbiológica total

En los países en desarrollo, la contaminación de origen biológico es tanto o más importante que la de origen químico. Por consiguiente, si se plantea una metodología que tenga como objetivo establecer los fundamentos para una completa restauración ambiental, se deberá considerar ambos tipos de contaminación.

La evaluación microbiológica total se plantea en tres fases:

- (1) El análisis de la contaminación en los medios ambientales
- (2) El análisis de biomarcadores de exposición
- (3) La evaluación de la información médica en la zona de estudio.

La contaminación microbiológica se revisará siempre en la fuente de agua potable y de manera secundaria. Se evaluarán aquellos medios ambientales que por los antecedentes o las condiciones particulares de cada sitio pudiesen estar contaminados (por ejemplo, suelo, alimentos, etc.). Se analizará por lo menos la presencia de organismos bacterianos de origen fecal. De ser posible, se revisará la presencia de otros elementos microbianos como parásitos y virus.

El término biomarcadores de exposición microbiana se refiere a un estudio coparazitoscópico. Sin embargo, otras pruebas clínicas microbiológicas podrían ser de utilidad. Las condiciones particulares de cada sitio indicarán qué pruebas serían útiles. Estos análisis se efectuarán en la población seleccionada para el monitoreo biológico. No obstante, siempre existirá la posibilidad de utilizar a un grupo diferente (por ejemplo, niños cuando el monitoreo biológico se

realice en adultos).

La evaluación de la información médica se efectuará sobre la base de los datos a ser recopilados en los servicios médicos de la localidad. Dadas las condiciones sanitarias de los países de la Región, las estadísticas sobre procesos infecciosos abundan aun en las clínicas rurales más humildes. Será necesario establecer un instrumento para interrogar sobre las infecciones gastrointestinales, pulmonares, etc.

En el informe final, el evaluador deberá generar un escenario de la situación microbiológica, para lo cual integrará las tres fuentes de información de esta sección y la información que recopile durante la visita al sitio (condiciones socioeconómicas, disposición de la basura, acceso al agua potable y drenaje, condiciones de vivienda, etc.).

9. Análisis de datos estadísticos de salud

El evaluador deberá analizar las fuentes de datos estadísticos, locales, estatales o nacionales, que sean relevantes para la zona de estudio. La discusión de los datos epidemiológicos se organizará según su fuente informativa. Para cada fuente el texto incluirá la siguiente información:

9.1. Justificaciones para el análisis

Las consecuencias en la salud son biológicamente plausibles por los antecedentes toxicológicos del contaminante encontrado en el sitio. La comunidad solicitó la evaluación, etc.

9.2. Características de la fuente

En numerosos casos no se contará con antecedentes sobre la presencia de ciertos problemas en la zona de estudio. En tales casos, se deberá recurrir a las fuentes de información local (médicos rurales, clínicas particulares, centros de salud, etc.). En todos los casos se deberá establecer en el informe del estudio, las características de la fuente informativa (años disponibles en la información obtenida, unidad geográfica mínima, calidad y confiabilidad de los datos obtenidos, etc.). Es muy importante hacer notar la relación entre la población expuesta y la unidad geográfica mínima analizada (por ejemplo, la población expuesta podría ser una comunidad de 1.000 habitantes y la unidad geográfica mínima de la fuente informativa podría ser el estado o provincia completa). Este punto es trascendental ya que en muchas ocasiones las unidades geográficas no son aplicables al sitio de interés.

9.3. Características de la población control

La información que se colecte, se deberá comparar con la registrada para una población control. Esta población control deberá reunir características similares a la población expuesta (por ejemplo, deberán dividirse por edad, raza, sexo, hábitos, nivel socioeconómico, exposición a otras sustancias -plaguicidas, tabaco, alcohol, etc.).

9.4. Resultados

Al presentar los resultados en el documento final, se deberán incluir los métodos de análisis (por ejemplo, promedios de mortalidad, etc.), sus limitaciones (por ejemplo, confiabilidad de los datos, efecto de la unidad geográfica en la interpretación de los datos, etc.), y sus implicaciones en salud pública. Además, el informe de las estadísticas de salud más relevantes, podría ser de utilidad

para contestar algunas de las interrogantes de la comunidad afectada sobre los posibles efectos en la salud. Sin embargo, se debe advertir que serán muy raras las ocasiones en que un dato estadístico refleje una relación causa-efecto entre un problema y la exposición a contaminantes.

10. Conclusiones y recomendaciones

10.1. Conclusiones

La primera conclusión será una declaración sobre el nivel de riesgo encontrado en la zona de estudio, para lo cual el investigador asignará a la zona una de las siguientes categorías:

- Riesgo de salud pública: urgente, requiere acción correctiva inmediata
- Riesgo de salud pública: requiere acción correctiva mediata
- Riesgo de salud pública: no definido, requiere vigilancia ambiental y epidemiológica
- Riesgo de salud pública: mínimo.

Para las primeras dos categorías, el investigador tendrá que identificar en el texto el o los contaminantes críticos, las rutas de exposición completas prioritarias a ser atendidas, los efectos en salud y la población expuesta. Se deberá resumir el motivo por el cual estas categorías fueron seleccionadas. En esta sección no se discute la nueva información.

El texto también resumirá las conclusiones sobre cada fase del proceso, con énfasis en los siguientes puntos:

- Posibles efectos en la salud por la exposición a los contaminantes identificados.
- Respuestas a las preocupaciones comunitarias en materia de salud.
- Resultados de la evaluación a las estadísticas de salud.
- Los efectos que podría tener la falta o la insuficiente información sobre el análisis o conclusiones del estudio.

Cada conclusión del estudio deberá tener una recomendación asociada a ella.

10.2. Recomendaciones

El investigador hará recomendaciones para:

- Finalizar o reducir la exposición (incluida la posible restauración ambiental).
- Caracterizar la zona de estudio.
- Sugerir actividades para dar seguimiento a los problemas de salud identificados.

Todas las recomendaciones deberán estar numeradas e iniciar con una palabra que denota acción (inmediatamente, a mediano plazo, etc.). Cada recomendación debe estar correlacionada con una de las conclusiones de la sección anterior.

Las recomendaciones hechas al haberse identificado efectos en la salud, deberán ser acompañadas de la propuesta de acciones que lleven a prevenir o reducir la exposición.

Las recomendaciones específicas deben ser eliminadas. En su lugar se deben dar recomendaciones donde las opciones no sean identificadas. De esta manera no se prejuzgan las medidas a tomar.

Cuando los datos ambientales o de otro tipo sean insuficientes para evaluar los riesgos en la salud, se deberá recomendar la obtención de la información faltante. El investigador deberá

identificar el tipo de información requerida, dónde se debe obtener (en caso de que se requieran muestreos, tendrá que establecerse el lugar preciso a ser muestreado) y quién tiene que recibir la información que se obtendrá. Cada una de las recomendaciones será temporalizada; cuando se necesite una acción urgente, ésta se estipulará de manera directa (por ejemplo, se requiere el suministro inmediato de agua potable de fuentes alternas). Las recomendaciones que no se temporalizan se pueden considerar como de baja prioridad.

La recomendación final en todo informe debe tratar sobre las acciones de seguimientos que se hayan considerado pertinentes en tres áreas: educación ambiental, estudios de salud e investigación científica dirigida a llenar algún vacío de información descubierto durante la realización del estudio. Asimismo, se analizará la posibilidad de incluir una recomendación para que los individuos acudan a tratamiento médico o a una vigilancia permanente.

10.3. Acciones de salud pública

Basado en las recomendaciones presentadas en el estudio, el investigador necesita identificar las acciones que se estén realizando o que se hayan planeado. Además, para identificar dichas acciones, el investigador debe identificar las agencias (departamentos o direcciones) gubernamentales responsables de ellas. El propósito de esta estrategia es organizar la agenda de salud relacionada con la zona de estudio, la que se establecerá con el fin de disminuir o de abatir la exposición a las sustancias tóxicas. De las acciones que se estén llevando a cabo o de las planeadas, el investigador debe anotar la siguiente información: (1) la acción; (2) la agencia o el grupo responsable de dicha acción; (3) el propósito de la acción; y (4) la fecha en que la acción ha ocurrido u ocurrirá.

10.4. Comunicación del riesgo

Al final los investigadores se deberán asesorar para determinar la mejor manera de informar los resultados del estudio al público y a las autoridades. Para tal fin, se analizarán las condiciones propias del sitio. Para todos los casos, se recomienda buscar el apoyo de los expertos en la materia.

11. Bibliografía

1. ATSDR (1992). Public health assessment guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta Georgia. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. Una traducción al español de esta publicación ha sido producida por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
2. ATSDR (1992). Interim petitioned public health assessment response procedures and decision criteria; notice. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Federal Register August 18, 37382-37389.
3. ATSDR (1994). Environmental data needed for public health assessments. A guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta Georgia.
4. CDC (1984). A system for prevention, assessment, and control of exposures and health effects from hazardous waste sites. Centers for Disease Control, U.S. Department of Health and Human Services.

5. Cox L.A., and Rici P.F. (1989). Risk, uncertainty, and causation: quantifying human health risks. En: *The risk assessment of environmental and human health hazards: a textbook of case studies.* (Paustenbach D.J., ed.) pp. 125-156; John Wiley & Sons, New York.
6. EPA (1989). *Exposure assessment methods handbook.* United States Environmental Protection Agency; Washington, D.C.
7. EPA (1991). Hazard ranking system; final rule. United States Environmental Protection Agency; Federal Register, December 14, 51532-51667.
8. EPA (1993). *A guidebook to comparing risks and setting environmental priorities.* United States Environmental Protection Agency; Washington, D.C.
9. EPA (1994). *Guidance manual for the integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children.* United States Environmental Protection Agency; Research Triangle Park, North Carolina.
10. EPA (1994). *Similarities and differences between ATSDR public health assessments and USEPA risk assessments under superfund.* Report to the ATSDR/EPA Mid-Level Managers Forum. United States Environmental Protection Agency; Washington, D.C.
11. Farland W., and Dourson M. (1993). Noncancer health endpoints: approaches to quantitative risk assessment. En: *Comparative environmental risk assessment* (Cothorn R.C., ed.) pp. 87-106; Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida.
12. Haas C.N. (1983). Estimation of risk due to low doses of microorganisms: a comparison of alternative methodologies. *Am. J. Epidemiol.* 118: 573-582.
13. Marsh G.M., and Day R. (1991). A model standardized risk assessment protocol for use with hazardous waste sites. *Environ. Health Perspect.* 90: 199-208.
14. Naugle D.F., and Pierson T.K. (1991). A framework for risk characterization of environmental pollutants. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 41: 1298-1307.
15. Paustenbach DJ (1989). A survey of health risk assessment. En: *The risk assessment of environmental and human health hazards: a textbook of case studies.* (Paustenbach D.J., ed.) pp. 27-124; John Wiley & Sons, New York.
16. Rose J.B., Haas C.N., and Regli S. (1991). Risk assessment and control of waterborne giardiasis. *Am. J. Publ. Health* 81: 709-713.
17. Silbergeld E.K. (1993). Revising the risk assessment paradigm: limits on the quantitative ranking of environmental problems. En: *Comparative environmental risk assessment* (Cothorn R.C., ed.) pp. 73-77; Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida.
18. Wilson J.D. (1993). It is possible to do quantitative assessment of relative risk. En: *Comparative environmental risk assessment* (Cothorn R.C., ed.) pp. 79-85; Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida.
19. Zamuda C. (1989). Superfund risk assessments: The process and past experience at uncontrolled hazardous waste sites. En: *The risk assessment of environmental and human health hazards: a textbook of case studies.* (Paustenbach D.J., ed.) pp. 266-295; John Wiley & Sons, New York.

ANEXO 1: PRIORIZACIÓN PRELIMINAR DE SITIOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS CON RESIDUOS PELIGROSOS

El objetivo de esta fase de priorización preliminar es ordenar los sitios listados, a fin de proceder a inspeccionar primero los que probablemente tengan mayor riesgo. Esta fase de priorización no pretende eliminar sitios, sólo los ordenará para organizar su estudio posterior. El formato se fundamenta en apreciaciones cualitativas y cuantitativas. No se pueden utilizar sólo los datos cuantitativos, porque muchos sitios no los tendrían y por lo tanto, se estaría dando preferencia a los sitios estudiados sobre los no estudiados y éstos podrían ser de mayor riesgo que aquéllos.

1. ¿Existe un medio ambiental para el transporte del contaminante?

Suelo	2 puntos	Aire	3 puntos
Alimento local *	2 puntos	Agua subterránea	4 puntos
Agua superficial	2 puntos	Otro ** _____	_____ puntos
		(a juicio del investigador)	

* producto de consumo humano

** pintura, polvo doméstico, etc.

Total de Puntos _____

Lo primero que se toma en cuenta es el número de medios ambientales afectados. Siempre será de mayor riesgo un sitio con el mayor número de medios contaminados, ya que en estos casos la exposición de la población se da simultáneamente por diferentes rutas. El valor más alto se le da al acuífero (agua subterránea) por dos razones: un acuífero contaminado afecta a un gran número de personas y es muy difícil de restaurar. Por la misma razón de afectar a numerosos individuos, el impacto en el aire le sigue en valor al acuífero. Se deja un espacio en blanco para que el investigador lo utilice a su criterio. Por ejemplo, en zonas metalúrgicas se puede considerar la contaminación en interiores residenciales (polvo doméstico). Para la calificación se suma el puntaje de cada uno de los medios afectados. Una zona metalúrgica con suelo, aire y agua subterránea contaminados, tendría por este concepto nueve puntos (dos de suelo + tres de aire + cuatro de agua subterránea).

2. ¿Existe probabilidad de exposición humana a los contaminantes?

Sí, en el sitio:	3 puntos	No:	0 puntos
Sí, lejana al sitio:	6 puntos		

El siguiente parámetro que se considera es el de la exposición humana. Con toda probabilidad, la gran mayoría de los sitios listados carecerán de información objetiva al respecto. Por ello, sólo se deberán anotar respuestas categóricas. En el caso de la afirmación, se deberá definir si la exposición es en el sitio o lejos de él. Se presume que la exposición es afirmativa, cuando hay contaminación evidente y existe población en el área contaminada. En el caso de que exista contaminación en el sitio y lejos de él, sólo se tomará el puntaje correspondiente a seis puntos.

3. ¿Existe población potencialmente bajo riesgo?

<i>Distancia al sitio (dentro de un radio)</i>		<i>Tamaño de la población</i>	
0 - 1500 m	3 puntos	> 100 mil personas	4 puntos
1501 - 3000 m	2 puntos	> 10 mil - 100 mil	3 puntos
> 3000 m	1 punto	> mil - 10 mil	2 puntos
		≤ mil	1 punto

Evidentemente, el riesgo de un sitio es directamente proporcional al tamaño de la población afectada. Dos sitios con los mismos niveles ambientales del mismo contaminante se distinguirán, si uno de ellos afecta a una comunidad grande y el otro a una pequeña. La probabilidad de encontrar efectos adversos entre la población expuesta será mayor en la comunidad grande. Por lo tanto, se otorga más peso al mayor tamaño de la población y también a la distancia, bajo el argumento que entre más cerca esté una comunidad de un sitio contaminado, mayor será la posibilidad de una exposición. Además, en muchos casos la concentración ambiental del contaminante va en relación inversamente proporcional a la distancia al sitio (conforme se aleja uno del sitio, entran en juego fenómenos de amortiguamiento ambiental). En este ítem se deberá multiplicar el valor de la distancia por el valor del tamaño de la población afectada. Por ejemplo, una comunidad de 90 mil personas ubicada a dos kilómetros del sitio tendría un puntaje de 6 puntos (dos por ubicarse entre 1501 y 3000 m y tres por tener una población entre 10 y 100 mil personas; dos por tres darían seis puntos totales por este concepto).

4. ¿Se cuenta con evidencia de vulnerabilidad social?

Sí: 3 puntos

No: 0 puntos

En este ítem se deberá definir si existe vulnerabilidad social según como se maneje este concepto en cada país (por ejemplo, existiría vulnerabilidad social en una comunidad con insuficiente atención médica, cuyas viviendas tuviesen piso de tierra, sin acceso a agua potable ni a drenaje, con desempleo importante, localizada en áreas endémicas de enfermedades transmisibles, sin centros de educación elemental, etc.).

5. ¿Existe preocupación social?

Sí: 3 puntos

No: 0 puntos

Mayormente la preocupación social está basada en datos informales, carentes de rigor científico. No obstante, independientemente de su origen, se debe atender el malestar de la sociedad civil y como tal considerarse éste como uno de los factores para la priorización preliminar.

6. Criterios de desempate

Cuando se realiza la priorización de una lista con numerosos sitios, es común encontrarlos con el mismo total de puntos. Para dichos casos se establecen criterios de desempate. Estos criterios se deberán definir según el grupo que haya originado el listado. Sin embargo, a continuación se exponen los que fueron empleados para el caso de San Luis Potosí (ejemplo que se presentó en el Capítulo 1 de este manual).

El primer criterio fue el factor obtenido del producto de la calificación del punto dos

Anexo 1: Priorización preliminar de sitios potencialmente contaminados con residuos peligrosos
(probabilidad de exposición humana a los contaminantes) por la calificación del punto tres (poblaciones cercanas).

El segundo criterio fue la calificación del punto tres.

El tercer criterio fue la calificación del punto uno (medios ambientales impactados).

Finalmente, hubo casos que requirieron un cuarto criterio. En dichos casos, el cuarto criterio fue el tamaño numérico de la población.

INFORMACIÓN REQUERIDA PARA CADA SITIO PELIGROSO

Ficha No. _____

Cada sitio llevará un número que facilitará su archivo e identificación en mapas.

1. *Nombre del sitio*

Nombre oficial y nombre común (nombre empleado por la población vecina al sitio).

2. *Ubicación Exacta (utilizando el número de ficha para localizar al sitio en el mapa)*

Incluir el nombre del Estado y Municipio, así como la descripción de cómo llegar al sitio.

3. *¿Existe preocupación social ?*

Sí _____ No _____ En el pasado _____ Potencial _____

En caso de no contarse con información precisa de este punto, durante la inspección del sitio se deberá levantar una encuesta entre los pobladores de la comunidad más cercana a él (el cuestionario se realizará considerando a la población civil pero también a los maestros, médicos locales y líderes de la comunidad, etc.).

4. *Fuente contaminante*

Describir el origen de la contaminación: natural o antropogénica. En caso de que sea una industria, se deberá incluir el ramo. Para definir la fuente, los niveles de los contaminantes deben ir disminuyendo conforme se aleje de ella gradiente abajo o en la dirección de los vientos. Estos niveles no se deben incrementar gradiente arriba o en contra de la dirección de los vientos.

5. *Tipo de residuos (metales, orgánicos, plaguicidas, mezclas complejas)*

En caso de carecer de estudios que indiquen el tipo de residuos, éstos se deberán inferir según la fuente. Es claro en el caso de minas (metales), campos agrícolas (plaguicidas) y algunas industrias como las petroleras (compuestos orgánicos). Sin embargo, en el caso de basureros municipales o depósitos clandestinos de residuos peligrosos, se deberá utilizar el concepto de mezclas complejas ya que en él se incluyen los contaminantes inorgánicos y orgánicos.

6. *Clasificación del sitio (minería, industrial, valle agrícola, petrolera, microempresa, depósito no controlado, otro).*

Luego de considerarse la fuente contaminante y el tipo de residuo, se definirá el sitio. En cuanto a depósito no controlado, se establecerá si es un relleno sanitario o un depósito para residuos industriales y si es de residuos sólidos o líquidos (aguas residuales).

7. *¿Se cuenta con evidencia de contaminación ambiental química? Sí ó No. En caso afirmativo: ¿evidencia directa de estudios calificados o evidencia indirecta? En este último caso ¿cuál?*

Los estudios calificados serán aquellos que cuenten con el informe del control de calidad utilizado para la obtención de los datos. En caso contrario, los estudios serán considerados como evidencia indirecta. Otros tipos de evidencia indirecta pueden ser la observación visual de derrames, el olor a solventes, la muerte de animales, el daño a la vegetación, etc. Todo tipo de evidencia deberá ser documentada y, en el caso de las evidencias indirectas, tendrán que ser confirmadas durante la inspección del sitio. Se debe recordar que es necesario tener cuidado con la información anecdótica.

8. *¿Se cuenta con evidencia de vulnerabilidad social?*

Para el manejo de este concepto, se deben tomar en consideración todos los factores que pudieran haber impedido atender adecuadamente un escenario de exposición humana a los contaminantes ambientales (escasez de personal médico, nivel cultural bajo, pobreza, falta de agua potable, etc.). Asimismo, se deberán considerar aquellos factores que habrían podido incrementar la toxicidad de los contaminantes (desnutrición, presencia endémica de otras enfermedades, etc.). El evaluador deberá comentar en su informe los factores encontrados.

9. *Medio ambiental impactado*

Suelo, aire, agua superficial (lago, laguna, río, arroyo intermitente, presa, etc.), agua subterránea (acuífero superficial o acuífero profundo), alimento, otros. El medio ambiental impactado por la contaminación deberá ser confirmado durante la fase de inspección. Es muy importante señalar que en caso de falta de evidencia sólida, este punto debe ser contestado por personal con experiencia en el área ambiental. Al llenar este punto, acepte una ligera posibilidad de error. Recuerde que por definición la incertidumbre de esta primera fase de la metodología de evaluación de riesgos es grande. Precisamente por ello ningún sitio será eliminado sin antes haber sido inspeccionado (segunda fase de la metodología).

10. *¿Existe evidencia de exposición humana a los contaminantes? Sí o No. En caso afirmativo: ¿evidencia directa de estudios calificados o evidencia indirecta?. En este último caso ¿cuál?*

La evidencia directa se definirá sólo por medio de estudios efectuados por laboratorios que hayan demostrado control de calidad en su trabajo y que hayan empleado biomarcadores específicos para los contaminantes encontrados en el sitio. La evidencia indirecta podría ser una alta incidencia de algún padecimiento como cáncer, abortos, malformaciones congénitas, etc. Se deberá tener mucho cuidado con la definición ya que en muchas ocasiones los padecimientos se deben a múltiples factores. Por ejemplo, cierto tipo de malformaciones se puede deber a la contaminación, pero también a otros factores como la desnutrición y la consanguinidad.

11. *Población más cercana*

Se considerará sólo aquella población más cercana al sitio. Sin embargo, de ser necesario, se deberá incluir información sobre otras poblaciones, que en algunos sitios también podrían ser susceptibles al riesgo ambiental (por ejemplo, cuando existe contaminación en un acuífero que abastece a varios poblados). Se deberá incluir el nombre, la distancia al sitio, el número de habitantes y la principal actividad económica. Probablemente toda esta información se puede obtener de bancos de información estadística, pero en la fase inicial se deberán confirmar los datos, sobre todo tratándose de poblaciones pequeñas y rurales.

12. *Anexar mapa de la entidad federativa*

En este mapa se identificará claramente el sitio y las poblaciones más cercanas a él.

13. *¿Se adjuntan documentos?*

Cuando se cuente con estudios donde se analice la contaminación química o microbiológica y/o los estudios de exposición humana, éstos se incluirán como anexo del informe de inspección. Es importante añadir todos los estudios (incluyendo los que carezcan de control de calidad).

14. *Fuente de información*

Todas las fuentes se deberán evaluar, según sea el caso, como confiables, dudosas o ignorables (estas últimas, por ejemplo, las fuentes anecdóticas no confirmadas durante la inspección al sitio).

FORMATO PARA LA INFORMACIÓN DE SITIOS PELIGROSOS

FICHA No. _____

1. Nombre del sitio

2. Ubicación exacta

Municipio _____ (utilizar el número de ficha para localizar el sitio en el mapa)
3. ¿Existe preocupación social ? Sí ___ No ___ En el pasado ___ Potencial _____
4. Fuente contaminante

5. Tipo de residuos: Metales ___ Orgánicos ___ Plaguicidas ___
Mezclas complejas _____
6. Clasificación del sitio: Minería ___ Industrial ___ (Giro) _____
Zona agrícola ___ Petrolera ___ Microempresa ___ (Giro) _____
Manejo de residuos ___ (Tipo) _____ Otros ___ (Tipo) _____
7. ¿Se cuenta con evidencia de contaminación ambiental química? Sí ___ No _____
Evidencia directa de estudios calificados _____ Evidencia indirecta _____ ¿Cuál?
Observación visual ___ Otros _____ ¿Cuáles? _____
8. ¿Se cuenta con evidencia de vulnerabilidad social ?
Sí ___ No _____
9. Medio ambiental impactado: Suelo ___ Aire ___ Agua superficial _____
(tipo de agua superficial) _____ Agua subterránea _____
Alimento ___ Otros _____

10. ¿Existe evidencia de exposición humana a los contaminantes ? Sí ____ No ____
Evidencia directa de estudios calificados ____ Evidencia indirecta ____ (explicar cuál) _____
11. Población más cercana: Nombre _____
Distancia al sitio _____
Número aproximado de habitantes _____
Principal actividad económica _____
12. Anexar mapa de la entidad federativa.
13. ¿Se adjuntan documentos? Sí ____ No ____
14. Fuente de información _____
Calificación de la fuente Confiable ____ Dudosa ____ Ignorable ____

CALIFICACIÓN PARA LA PRIORIZACIÓN DE VISITA AL SITIO _____

Llenó el cuestionario (nombre completo) _____

Dependencia _____ Teléfono _____ Fax _____

Dirección _____ Email _____

ANEXO 2: BASES PARA LA CALIFICACIÓN DE LOS SITIOS INSPECCIONADOS

1. Antecedentes del sitio. Máximo: 17 puntos

1.1 Poblaciones cercanas al sitio (MULTIPLIQUE DISTANCIA X TAMAÑO)

<i>Distancia al sitio (dentro de un radio)</i>		<i>Tamaño de la población</i>	
0 - 1500 m	3 puntos	> 100 mil personas	4 puntos
1501 - 3000 m	2 puntos	> 10 mil - 100 mil	3 puntos
> 3000 m	1 punto	> mil - 10 mil	2 puntos
		≤ mil	1 punto

1.2. ¿Existe preocupación social?

Sí:	2 puntos
No:	0 puntos

1.3. ¿Tipos de contaminantes presentes en el sitio (SUME EL TOTAL)

Orgánicos:	1 punto
Inorgánicos:	1 punto
Microbiológicos:	1 punto

2. Contaminación ambiental. Máximo: 28 puntos

2.1. Análisis preliminar de la contaminación

1. Evidencia de contaminación dentro del sitio. (CINCO PUNTOS)
2. Evidencia de contaminación fuera del sitio. (CINCO PUNTOS)
3. Control de calidad y confiabilidad de las muestras. (CINCO PUNTOS)
4. Presencia de contaminantes críticos. (CINCO PUNTOS)

2.2. Toxicidad del contaminante más significativo

El contaminante más significativo se define por ser el contaminante crítico que superó con mayor valor la EMEG respectiva, o por ser el que más preocupación generó en la comunidad.

SIN TOXICIDAD:	0 PUNTOS	TOXICIDAD LIGERA:	2 PUNTOS
TOXICIDAD MODERADA:	3 PUNTOS	TOXICIDAD SEVERA:	4 PUNTOS

2.3. Persistencia del contaminante más significativo

NO PERSISTENTE:	0 PUNTOS	ALGO PERSISTENTE:	2 PUNTOS
PERSISTENTE:	3 PUNTOS	ALTAMENTE PERSISTENTE:	4 PUNTOS

(En el caso de que no exista información sobre toxicidad y/o persistencia del contaminante más crítico, se asumirá toxicidad severa y alta persistencia).

3. Análisis de rutas de exposición. Máximo: 15 puntos

Para esta sección se considerará la información directa obtenida mediante el análisis ambiental en los puntos de exposición y la estimación teórica que se realice tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes críticos, así como los factores específicos del sitio que pudiesen influir en el destino y transporte de los contaminantes.

3.1. Medio ambiental impactado (SUME EL TOTAL)

Suelo:	2 puntos	Aire:	3 puntos
Alimento:	2 puntos	Agua subterránea:	4 puntos
Agua superficial:	2 puntos	Otro _____:	2 puntos

Los parámetros fisicoquímicos que a continuación se listan, se tomarán en cuenta para suponer la presencia del contaminante significativo en más de un medio:

Solubilidad en agua, Constante de la Ley de Henry, Factor de bioconcentración (FBC) y	Coeficiente de partición octanol/agua, Coeficiente de partición de carbono orgánico, Velocidad de transformación y de degradación.
---	--

Las características del sitio que a continuación se listan, se tomarán en cuenta para suponer la presencia del contaminante significativo en más de un medio:

Índice de precipitación anual, Cubierta del suelo, Características hidrogeológicas, Canales de aguas superficiales, Obras públicas y	Condiciones de temperatura, Características geomorfológicas, Flora y fauna, Características del suelo, Velocidad y dirección de los vientos.
--	--

4. Caracterización preliminar del riesgo. Máximo: 40 puntos

SE CONSIDERARÁ SOLAMENTE AL CONTAMINANTE MÁS SIGNIFICATIVO
(MULTIPLICAR EL PUNTAJE DE LA CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO POR EL DE SEVERIDAD DEL EFECTO)

4.1. Caracterización del riesgo cancerígeno

INCIDENCIA DE CÁNCER (RIESGO INDIVIDUAL X POBLACIÓN)

>1000	10 PUNTOS	100 -1000	9 PUNTOS
10 -100	8 PUNTOS	<10	7 PUNTOS

4.2. Caracterización del riesgo no cancerígeno

RELACIÓN DE RIESGO (DOSIS ESTIMADA / RfD O MRL)

>1000	10 puntos	100 -1000	9 puntos
10 -100	8 puntos	<10	7 puntos

4.3. Severidad del efecto en salud

CATASTRÓFICA	3 PUNTOS
SERIA	2 PUNTOS
ADVERSA	1 PUNTO

- ◆ Si la sustancia es cancerígena, se multiplicará su incidencia por tres puntos, (en el concepto de severidad, es el valor de una enfermedad catastrófica).
- ◆ En caso de que se caracterice el riesgo como no cancerígeno, se multiplicará su relación dosis/RfD por la severidad del padecimiento que se haya seleccionado para su caracterización (que debe ser para la cual fue calculada la RfD).

4.4. Factores asociados al riesgo (NIVEL DE MARGINACIÓN ECONÓMICA)

Alta marginación:	10 PUNTOS
Marginación media:	5 PUNTOS

5. Calificación de los sitios inspeccionados

(75 - 100 puntos)

URGENCIA AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA

EL SITIO REQUIERE RESTAURACIÓN INMEDIATA Y
UNA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

(40 - 74 puntos)

RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA

EL SITIO REQUIERE LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.
LOS RESULTADOS DE DICHO ANÁLISIS DETERMINARÁN
LA TEMPORALIDAD DE SU RESTAURACIÓN.

(0 - 39 puntos)

MÍNIMO RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA

EL SITIO NO REQUIERE UN ANÁLISIS MÁS PROFUNDO.
SE INSTRUMENTARÁ UN PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL
PARA EVITAR UN RIESGO FUTURO.

PROTOCOLO MODELO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

Cuadro I. Tasas de toxicidad*

0: Ninguna toxicidad (ninguna)

Materiales que no causan daño bajo ninguna condición normal de uso.

Materiales que producen efectos tóxicos en los seres humanos sólo bajo condiciones inusuales o por grandes dosis.

1: Toxicidad leve (baja)

Aguda local

Materiales que en una sola exposición que dura segundos, minutos u horas, causan sólo efectos leves en la piel o membranas mucosas independientemente del grado de exposición.

Aguda sistémica

Materiales que se pueden absorber en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y producen sólo efectos leves después de una sola exposición que dura segundos, minutos, u horas, o luego de ingerir una dosis, independientemente de la cantidad absorbida o del grado de exposición.

Crónica local

Materiales que en una exposición continua o repetida que se extiende durante períodos que pueden incluir días, meses o años, causan sólo un daño leve generalmente reversible a la piel o membranas mucosas. El grado de exposición puede ser grande o pequeño.

2: Toxicidad moderada (mod)

Aguda local

Materiales que en una sola exposición que dura segundos, minutos u horas, causan efectos moderados sobre la piel o membranas mucosas. Estos efectos pueden ser el resultado de una intensa exposición en cuestión de segundos o exposición moderada en cuestión de horas.

Aguda sistémica

Materiales que se pueden absorber en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y producen efectos moderados luego de una sola exposición que dura segundos, minutos u horas, o luego de ingerir una sola dosis.

Crónica local

Materiales que en una exposición continua o repetida que se extiende durante períodos de días, meses o años, causan un daño moderado a la piel o membranas mucosas.

Crónica sistémica

Materiales que pueden absorberse en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y producen efectos moderados luego de exposiciones continuas o repetidas que se extienden durante días, meses o años.

3: Toxicidad grave (alta)

Aguda local

Materiales que en una sola exposición que dura segundos o minutos causan lesión a la piel o membranas mucosas de gravedad suficiente para amenazar la vida o causar deficiencia física permanente o deformación.

Aguda sistémica

Materiales que pueden absorberse en el organismo mediante inhalación, ingestión, o a través de la piel y pueden causar lesión de gravedad suficiente para amenazar la vida después de una única exposición que dura segundos, minutos u horas, o luego de la ingestión de una sola dosis.

Crónica local

Materiales que en exposiciones continuas o repetidas durante períodos que pueden incluir días, meses o años, pueden causar lesión a la piel o membranas mucosas de gravedad suficiente para amenazar la vida o causar deficiencia permanente, deformación, o cambio irreversible.

Crónica sistémica

Materiales que pueden absorberse en el organismo mediante inhalación, ingestión o a través de la piel y pueden causar la muerte o deficiencia física grave luego de exposiciones continuas o repetidas a cantidades pequeñas durante períodos que pueden incluir días, meses o años.

*Las clasificaciones numeradas de toxicidad han sido tomadas de Sax, N.L. (1976). *Dangerous properties of industrial materials*, 4th ed. Van Nostrand Reinhold, Co., Nueva York.

Las clasificaciones de toxicidad entre paréntesis son de Sax, N.L. (1979). *Dangerous properties of industrial materials*, 5th ed. Van Nostrand Reinhold, Co., Nueva York.

Cuadro 2. Características de algunas sustancias comunes*

Compuesto	Toxicidad ^a	Persistencia	Inflamabilidad	Reactividad
Acetaldehído	3	0	3	2
Acetona	2	0	3	0
Ácido acético	3	0	2	1
Ácido clorhídrico	3	0	0	0
Ácido fórmico	3	0	2	0
Ácido nítrico	3	0	0	0
Ácido sulfúrico	3	0	0	2
Aldrín	3	3	1	0
Anilina	3	1	2	0
Anhidrido de amonio	3	0	1	0
Benceno	3	1	3	0
BPC	3	3	0 ^c	0 ^c
Ciclohexano	2	2	3	0
Clordano	3	3	0 ^b	0 ^b
Clorobenceno	2	2	3	0
Cloroformo	3	3	0	0
(m, p)-Cresol	3	1	1	0
O-Cresol	3	1	2	0
Endrín	3	3	1	0
Éter isopropílico	3	1	3	1
Etilbenceno	2	1	3	0
Fenol	3	1	2	0
Formaldehído	3	0	2	0
Lindano	3	3	1	0
Metano	1	1	3	0
Metil etilcetona	2	0	3	0
Metil paratión en solución de xileno	3	0 ^c	3	2
Naftaleno	2	1	2	0
Paratión	3	0 ^c	1	2
Petróleo, kerosene (combustible N°. 1)	3	1	2	0
Tetracloruro de carbono	3	3	0	0
Tolueno	2	1	3	0
Triclorobenceno	2	3	1	0
α- Tricloroetano	2	2	1	0
Xyleno	2	1	3	0

* Marsch, G.M. & Day, R. (1991). A model standardized risk assessment protocol for use with hazardous waste sites. *Environ. Health Perspect.* 90:199-208.

^aSe usa la calificación más alta enumerada bajo cada sustancia. Fuente: Sax, N.L. (1976. *Dangerous properties of industrial materials*, 4th ed. Van Nostrand Reinhold co., Nueva York.

^bOpinión profesional basada en información contenida en: U.S. Co: Guard CHRIS Hazardous Chemical Data.

^cOpinión profesional basada en la literatura existente.

Cuadro 3. Presistencia ambiental (biodegradabilidad) de algunos compuestos orgánicos*

Valor 3: compuestos altamente persistentes	Valor 2: compuestos persistentes	Valor 1: compuestos algo persistentes	Valor 0: compuestos no persistentes
Aldrín	Endrín	Acanaftileno	Ácido behénico, metiléster
Benzopireno	Heptacloro	Atracina	Ácido bencenosulfónico
Benzotiazol	Heptacloroepóxido	(Dietil) atracina	Anhídrido ftálico
Benzotiofeno	1,2,3,4,5,7,7 heptacloro nobomano	Barbital	Benceno
Bencil butil ftalato	Hexaclorobenceno	Borneol	<i>n</i> -Butilbenceno
Bromoclorobenceno	Hexacloro-1,3 butadieno	Bromobenceno	Butilbromuro
Bromodichlorometano	Hexaclorociclohexano	Canfor	<i>o</i> -Caprolactona
Bromofenil fintil éter	Hexacloroetano	Clorobenceno	<i>o</i> -Cresol
Bromoformo	Metil benzotiazol	1,2- <i>bis</i> -Cloroetoxi-etano	Decano
Bromoformo butanal	Pentaclorobifenil	<i>b</i> -Cloroetil metil éter	<i>n</i> -Decano
Clordano	Pentaclorofenol	Clorometil éter	1,2-Dicloroetano
Cloroformo	1,1,3,3-tetracloroacetona	Clorometil etil éter	Dicloruro de acetileno
Clorohidroxi-benzafenona	Tetracloroetano	3-Clorpiridina	Diocil adipato
<i>bis</i> -Cloroisopropil éter	Tetraclorofenil	Cloruro de metilo	1,2-Dimetoxi benceno
Cloromoclorometano	Tetracloruro de carbono	Cloruro de metileno	1,3-Dimetil naftaleno
<i>m</i> -Cloronitrobenceno	Tiometilbenzotiazol	Di- <i>f</i> -butil- <i>p</i> -benzoquinona	1,4-Dimetil fenol
Dibexil ftalato	Triclorobenceno	Dicloroetil éter	Disulfuro de carbono
DDE	Triclorobifenil	Dihirocarvona	Etil benceno
DDT	1,1,2-tricloroetano ^a	Dimetil sulfóxido	2-Etil- <i>n</i> -hexano
Dibromobenceno	2,4,6-triclorofenol	2,6-dinitrotolueno	<i>v</i> -Etiltolueno
Dibromodichloroetano	Triclorofluorometano	<i>cis</i> -2-Etil-4-metil-1,3-dioxolan	Fenilo benzoato
Dibutil ftalato	Trifenil fosfato	<i>trans</i> -2-Etil-4-metil-1,3-dioxolan	Isodecano
1,4-Diclorobenceno		Guayacol	Isopropil benceno
Diclorodifluoroetano		2-Hidroxiadiponitrilo	Limoneno
Dieldrín		laforona	Metil éster de ácido ligocénico
Dietil ftalato		Indeno	Metano
Di-(2-etilhexil) ftalato		Isoborneol	2-Metil-5-etilpiridina
Di-isobutil ftalato		Isoprofenil- <i>r</i> -isopropil benceno	Metilo esteárico
Dimetil ftalato		2-Metoxi bifenil	Metilo fenil carbinol
4,6-dinitro-2-aminofenol		Metil bifenil	Metilo naftaleno
Dipropil ftalato		Metilindano	Metilo palmitato
		Nitroanisol	Nonano
		Nitrobenceno	Octano
		1,1,2-Tricloroetileno	Octil cloruro
		Trimetil-trioxo-hexahidro	Pentano
		Triazina isómero	<i>n</i> -Propilbenceno
			1-Terpincol
			Tolueno
			Vinil benceno
			Xileno

*Fuente: Marsch, G.M. & Day, R. (1991). A model standardized risk assessment protocol for use with hazardous waste sites. *Environ. Health Perspect.* 90:199-208.
 USPHS (1983). *S.P.A.C.E. for Health: A system for prevention, assessment and control of exposures and health effects from hazardous sites.* US. Public Health Service, Washington, D.C., Abril 1983.

ANEXO 3: INSPECCIÓN DE SITIOS PELIGROSOS

ZONA MINERA DE VILLA DE LA PAZ - MATEHUALA

Jesús Mejía, Leticia Carrizales y Fernando Díaz Barriga

1. Visita al sitio

1.1. Descripción del sitio

El sitio se ubica en México, en el Estado de San Luis Potosí y en los municipios de Villa de la Paz y Matehuala. En Matehuala el sitio afecta a la ciudad del mismo nombre, la que se ubica a una distancia de 10.0 km gradiente abajo de las minas de Villa de la Paz. El sitio es una típica área minera. El material proveniente del subsuelo es llevado a una planta de beneficio, que se localiza en el centro de un pequeño poblado denominado Villa de la Paz (3.000 habitantes). Hacia la periferia de la mina se ubica la presa de "Jales", donde los residuos se han ido acumulando con el paso del tiempo, llegando a formar una "montaña" de material fino. Frente a esta "montaña" o depósito de residuos, se construyó una nueva zona residencial denominada Colonia Real de Minas (500 habitantes). En época de lluvia la presa ha sufrido derrames ocasionales y partículas del residuo minero son transportadas por escurrimientos superficiales hasta un arroyo intermitente (Arroyo de La Paz), el cual a su vez transporta el residuo minero por más de 15 km gradiente abajo, hasta que se introduce al subsuelo a través de fracturas geológicas. En época de estiaje, el sedimento seco del arroyo y el material de la "montaña" son transportados como polvo hasta zonas agrícolas y áreas residenciales vecinas, respectivamente. Por el Arroyo de La Paz y por los vientos, el material de los residuos ha llegado a la Ciudad de Matehuala (80.000 habitantes). Por otra parte, no existen barreras adecuadas que impidan el paso de niños a la zona de almacenamiento de los residuos mineros. En la zona de mayor riesgo, la gente ha manifestado su molestia por el polvo proveniente de la mina. En el ejido "La Carbonera", donde el material arrastrado por el Arroyo de La Paz contaminó tierras de cultivo, las quejas escuchadas fueron por la productividad de la tierra, no a causa de riesgos en la salud.

1.2. Tipos de contaminantes

De acuerdo con la monografía minera del Estado, publicada por el Consejo de Recursos Minerales, en la zona existen cinco minas principales que producen plata, oro, plomo, cobre y zinc. No encontramos evidencia de contaminantes orgánicos (por ejemplo, plaguicidas). A través de entrevistas con el personal médico local y mediante la inspección directa del sitio (alto nivel de marginación), se logró el registro de contaminación microbiológica.

1.3. Puntos de exposición

- ◆ *Depósito de residuos.* La "montaña" que se ha formado con los residuos mineros, resultaba atractiva para la población infantil. En el pasado era más frecuente que los niños jugaran en ella.
- ◆ *Suelo.* En Villa de la Paz y en la Colonia Real de Minas, el suelo podría estar contaminado por las actividades mineras. En la primera localidad, a causa de las operaciones de la planta de beneficio, y en la segunda por el depósito de residuos mineros. Pese a que las calles están pavimentadas, el pavimento es malo y en muchos puntos se puede entrar en contacto directo con la tierra. Tanto en Villa de la Paz como en la Colonia se detectaron numerosos

puntos de recreación infantil ya que los niños juegan al aire libre. Varios de estos puntos de recreación carecen de cubierta vegetal.

- ◆ *Polvo residencial.* En Villa de la Paz y en la Colonia Real de Minas, la mayoría de las viviendas cuentan con techo de losa de concreto y piso de cemento. Sin embargo, como el sitio se ubica en una zona semiárida, es usual que los vientos transporten material hacia el interior del hogar. Además, en la Colonia Real de Minas descubrimos que los residuos mineros fueron utilizados para la construcción de algunas viviendas. Por esto, se debe considerar la ingesta de polvo en interiores por parte de infantes y la posible inhalación de polvo contaminado en exteriores e interiores por parte de toda la población.
- ◆ *Arroyo de La Paz.* Este arroyo intermitente representa una doble fuente de contaminación. En época de lluvia acarrea material desde el depósito de residuos mineros a lo largo de 15 km gradiente abajo. Cuando la lluvia es fuerte, la corriente del arroyo llega a inundar los terrenos aledaños, contaminándolos con un sedimento blanco. En época de estiaje, el arroyo se seca y el sedimento formado por el material acarreado pasa a ser fuente de polvo contaminado. Observamos a niños jugar en las zonas impactadas por el arroyo.
- ◆ *Acuífero.* En el área de influencia del sitio, se ubica un acuífero que es la única fuente de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Matehuala, Villa de la Paz y la comunidad de Cedral. Por consiguiente, en vista de que las aguas del Arroyo de La Paz se introducen al subsuelo a través de fracturas geológicas, se vuelve imperativo vigilar la calidad de este cuerpo de agua.
- ◆ *Estanque del poblado “Cerrito Blanco”.* A la altura de la Ciudad de Matehuala, se forma un acueducto subterráneo superficial que lleva agua hasta un estanque de almacenamiento ubicado en el poblado de “Cerrito Blanco”. En dicho poblado, los lugareños nos indicaron que el agua estaba “envenenada” y que no la utilizaban para consumo humano. Sin embargo, se emplea para el regadío de cultivos y en época de calor es frecuente observar a los niños nadando en el estanque.

2. Contaminación ambiental

2.1. Muestreo ambiental

El muestreo consideró el procedimiento del Manual de Muestreo Ambiental, publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR).¹ A continuación se expone el diseño seguido en cada uno de los puntos de exposición.

- ◆ *Depósito de residuos.* Debido a que se tuvo un acceso limitado al depósito, se tomó una única muestra del residuo.
- ◆ *Suelo.* En la Colonia Real de Minas se tomaron tres muestras de suelo superficial y en el resto de los sitios se colectó solamente una.

- ◆ *Arroyo de La Paz.* Al momento del muestreo el arroyo no llevaba agua, por lo cual solamente se colectaron muestras de sedimento.
- ◆ *Acuífero.* Se tomaron muestras de los dos pozos más próximos al Arroyo de la Paz y de otro localizado a 20 km gradiente abajo de Matehuala (este pozo presumiblemente se ubica en un acuífero diferente).
- ◆ *Estanque del poblado "Cerrito Blanco".* En esta comunidad se colectaron muestras del agua potable y del estanque.

Las muestras de suelo se colectaron y transportaron en bolsas plásticas estériles. En el laboratorio se procedió a su secado y de inmediato fueron digeridas para su análisis. Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos lavados con ácido nítrico al 10.0%. Después de la colecta, las muestras fueron acidificadas con nítrico concentrado y transportadas bajo refrigeración. En el laboratorio se mantuvieron a 4°C hasta su análisis.

2.2. Análisis ambiental

- ◆ *Método.* Los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico y con horno de grafito o flama para plomo, cobre y manganeso. Las muestras de agua fueron digeridas con una mezcla de nítrico-perclórico (3.0:0.5). Las muestras de suelo fueron digeridas con horno de microondas utilizando nítrico al 25.0%.
- ◆ *Control de calidad.* Se efectuaron análisis de estándares certificados. Para suelo se utilizó el estándar NIST-SRM 2710 (Montana soil) obteniéndose una recuperación superior al 90% para todos los metales. Para agua se utilizó un estándar de la EPA con una recuperación para arsénico, cadmio y plomo superior al 95%.

2.3. Resultados

- ◆ *Residuos mineros.* En el Cuadro 1 se presenta el resultado del análisis efectuado a la muestra de residuo minero. Se advierte que los tres metales tóxicos más abundantes fueron el arsénico, plomo y manganeso. Si bien se encontraron niveles altos de cobre, esto representa un menor riesgo debido a que su toxicidad es inferior a la de los tres metales citados. Se espera que el residuo contenga otros metales como zinc, cadmio, níquel y cromo. De hecho, en una muestra a 50 m del depósito encontramos trazas de estos tres últimos metales. Para tener una idea del alto contenido de arsénico y plomo en el residuo, se comparó esta matriz con los niveles en un suelo basal. La comparación indicó que el residuo tiene 214 veces más arsénico y 230 veces más plomo que el valor basal. Ahora bien, debido a que los metales podrían variar de manera importante en los diferentes puntos del depósito, una muestra es insuficiente para definir la distribución estadística de los metales contenidos en el mismo. No obstante, los datos del Cuadro 1 indican riesgo.

CUADRO 1. CUANTIFICACIÓN DE METALES
EN EL RESIDUO MINERO (mg/kg)

ARSÉNICO	9.647
MANGANESO	1.650
COBRE	1.180
PLOMO	690

- ◆ *Suelo.* En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos en las muestras de suelo. Al comparar los datos con los niveles basales, se advierte que todos los puntos presentan evidencia de impacto ambiental. Los valores de plomo no muestran gran dispersión entre sí, pero los niveles de arsénico en el sedimento y en La Carbonera fueron los de mayor valor. Tal vez la causa sea que la presencia del metaloide en estos puntos se da por el lavado del terreno en épocas de lluvias, en tanto que el principal mecanismo de contaminación en la Colonia Real de Minas es el acarreo de partículas por la acción del viento.

CUADRO 2. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y PLOMO EN SUELO (mg/kg)

PUNTO	ARSÉNICO	PLOMO
COLONIA 1	2.157	470
COLONIA 2	1.235	334
COLONIA 3	437	252
SEDIMENTO	7.102	464
LA CARBONERA	4.087	691
Basales	45	3

Se tomaron tres muestras de la Colonia Real de Minas, una muestra del sedimento del Arroyo La Paz, a 10 km gradiente abajo del depósito de residuos mineros y otra muestra en el ejido La Carbonera, a 12 km gradiente abajo del depósito.

- ♦ *Agua.* El agua subterránea del Municipio de Matehuala a 10 km del depósito, fue investigada en tres pozos (Cuadro 3). Se presume que los pozos de La Florida y del Hotel se abastecen de un acuífero diferente al del pozo Los Ángeles. De otro lado, el agua del estanque de Cerrito Blanco proviene de un acueducto subterráneo originado por el Arroyo de la Paz. Los pozos de La Florida y del Hotel y el estanque de Cerrito Blanco están contaminados por arsénico. El pozo de Los Ángeles se encuentra cerca del parámetro de la Organización Mundial de la Salud (10 µg/L).²

CUADRO 3. NIVELES DE ARSÉNICO EN FUENTES DE AGUA (µg/L).

PUNTO	ARSÉNICO
LA FLORIDA	106
HOTEL	6.897
LOS ANGELES	20
POZA CERRITO	5.432

Los tres primeros puntos son pozos. El punto de la Poza Cerrito es el estanque de Cerrito Blanco.

3. Selección de contaminantes críticos

Recordemos que los contaminantes críticos se definen bajo dos posibles criterios: (1) que la concentración ambiental del contaminante supere a la EMEG; y/o (2) que el contaminante sea causa de preocupación en la comunidad afectada. En el caso de este sitio, el segundo punto no se aplica ya que la comunidad no mostró preocupación por ninguna sustancia química en particular ni por la contaminación microbiológica. Por consiguiente, deben calcularse las EMEG para arsénico correspondientes a agua y suelo. Para el caso de plomo no existe una dosis de referencia, por lo cual no puede calcularse la EMEG. En consecuencia, se usará el valor guía calculado para plomo en suelo, el que se aplica a zonas recreativas de infantes y que es igual a 250 mg/kg.³

3.1. Arsénico

Se tomará en cuenta a la población infantil por ser la de mayor riesgo, dados los niveles de contaminación encontrados en este trabajo en los puntos de exposición analizados.

$$EMEG = \frac{RfD (mg / kg / día) \times PC (kg)}{TI (kg \text{ o } L / día)}$$

RfD = Se aplica el valor para exposición oral ya que en ambos casos (suelo y agua), la ingesta oral es la vía de exposición = 3×10^{-4} mg/kg/día.⁴

PC = Peso corporal de un niño (10 años) = 25 kg.

TI = Tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro/niño⁵

= Tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg/niño⁶

Se aplica este valor extremo, considerando las condiciones de pobre pavimentación, escasa cubierta vegetal en el suelo, carencia de áreas recreativas infantiles fuera de la zona contaminada y hábitos higiénicos deficientes (registro efectuado durante la inspección al sitio).

◆ Suelo

$$EMEG_{\text{SUELO}} = \frac{0,0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{0,00035 \text{ (kg/día)}} = \frac{0,0075 \text{ (mg / día)}}{0,00035 \text{ (kg / día)}} = 21,4 \text{ mg / kg}$$

En el suelo todos los puntos que se presentan en el Cuadro 2 superaron a la EMEG de 21,4 mg/kg. En tanto el nivel basal se ubicó cerca de este valor.

◆ Agua

$$EMEG_{\text{AGUA}} = \frac{0,0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{1,0 \text{ (L/día)}} = \frac{0,0075 \text{ (mg / día)}}{1,0 \text{ (L / día)}} = 0,0075 \text{ mg / L} = 7,5 \text{ } \mu\text{g / L}$$

Al tomarse los valores de arsénico en agua expuestos en el Cuadro 3, se concluye que todos los puntos muestreados se encontraron por arriba de la EMEG de 7,5 µg/L. Sin embargo, el pozo ubicado en el ejido de Los Ángeles se encuentra cerca de este valor.

Tomando en cuenta que el arsénico supera a la EMEG en agua y suelo, éste se considerará como un contaminante crítico para el sitio Villa de la Paz – Matehuala.

3.2. Plomo

El siguiente análisis tomará en cuenta a la población infantil, por ser ésta la de mayor riesgo en cuanto a toxicidad del plomo por contaminación de suelo. El valor de referencia seleccionado para el análisis fue de 250 mg/kg, que es el valor guía calculado para suelo en zonas recreativas de infantes. Todos los datos presentados en el Cuadro 2 superaron este valor de referencia.

Dado que el plomo supera el valor de referencia en suelo, se debe considerar como un contaminante crítico para el sitio Villa de la Paz – Matehuala.

4. Análisis preliminar de las rutas de exposición

AIRE

En vista del tipo de material que forma el residuo minero, se puede asumir la presencia de partículas pequeñas con plomo y arsénico. Estas partículas podrían ser inhaladas por la población expuesta, incluida la que reside en la Colonia Real de Minas.

SUELO	Encontramos evidencia de contaminación por arsénico y plomo alrededor del depósito, en la Colonia Real de Minas y en los terrenos impactados por el Arroyo de La Paz. Esto podría afectar a la población infantil.
AGUA	Se registraron importantes niveles de arsénico en pozos de la Ciudad de Matehuala y en el estanque de Cerrito Blanco. Si la contaminación se extiende, toda la población estaría en riesgo.
POLVO	En la Colonia Real de Minas, vecina al depósito minero, se recibieron quejas de la población, por la presencia de grandes cantidades de polvo al interior de las viviendas. El origen del polvo sería el propio depósito. Este hecho y la otra información según la cual el residuo fue utilizado para la construcción de las viviendas, hace suponer que los niños podrían estar expuestos a los metales inclusive al interior de sus hogares.
SEDIMENTO	Se encontraron altos niveles de metales en la zona cercana al depósito minero y en un punto ubicado 15 km gradiente abajo. Esta ruta afectaría a los campesinos que caminen sobre el lecho del arroyo y a los niños que jueguen cerca de él.
ALIMENTO	El área de mayor importancia sería el terreno de Cerrito Blanco que es regado con aguas contaminadas del estanque. No obstante, los niveles de arsénico en suelo fueron “normales” (resultados no mostrados).

5. Estimación preliminar del riesgo

El método para la estimación preliminar del riesgo que exponemos a continuación se basa en la metodología de estimación de riesgo que se expone en el Capítulo 2 de este manual.

5.1. Identificación del contaminante

En esta sección se resume la información sobre los contaminantes presentes en el sitio.

a) ¿Cuál es la ruta de exposición más importante en el sitio?

Nuestros datos apuntan a la existencia de por lo menos tres rutas actuales y una potencial. Las actuales rutas serían: suelo en la Colonia Real de Minas, polvo en interiores de la misma zona residencial y agua contaminada en el bordo de almacenamiento de Cerrito Blanco. La ruta potencial sería el acuífero de la Ciudad de Matehuala, en caso de que éste se explotase para uso humano. De las rutas actuales, creemos que la más importante sería el suelo ya que es un punto de exposición directo para la población infantil.

b) ¿Cuáles son los contaminantes críticos detectados en dicha ruta?

Arsénico y plomo. Sin embargo, otros metales como el cobre y el manganeso no fueron cuantificados, a pesar de haber sido detectados en el residuo minero.

c) ¿Existe la posibilidad de que los contaminantes se transporten de un medio a otro?

Sí. Por viento o escurrimientos superficiales el depósito de residuos mineros ha contaminado el suelo y los acuíferos de la zona. En cuanto a los alimentos de la pequeña área agrícola de Cerrito

Blanco, es necesario realizar más estudios antes de emitir una conclusión definitiva.

d) ¿Cuál es la población de alto riesgo?

Los niños, ya que los puntos de exposición analizados son frecuentados por ellos.

e) ¿Cómo ocurre la exposición a los contaminantes (frecuencia, duración, etc.)?

Zonas de recreación infantil, en escuelas y vecindades. Se considera exposición crónica continua.

f) ¿Cuáles son los efectos tóxicos de los contaminantes críticos?

El arsénico y el plomo deben considerarse contaminantes altamente persistentes y con toxicidad severa. En los Cuadros 4 y 5 se presentan algunos efectos tóxicos de estos metales.

5.2. Análisis dosis-respuesta

El arsénico es un elemento cancerígeno. Sin embargo, para este análisis se ha seleccionado a los niños como el grupo de alto riesgo. Por lo tanto, la discusión se centra en los efectos no cancerígenos de este contaminante y no se realizará la caracterización del riesgo cancerígeno.

CUADRO 4. DOSIS-EFECTO PARA EXPOSICIÓN INFANTIL AL ARSÉNICO

CLASIFICACIÓN DOSIS ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)		EFFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0.30	Lesiones dérmicas	4
LOAEL*	2.60	Efectos neurológicos	7

(*) Estudio en niños de 25 kg de peso.

CUADRO 5. EFECTOS DEL PLOMO EN NIÑOS EN RELACIÓN AL NIVEL DE PLOMO EN LA SANGRE

Plomo en la sangre ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	Efecto
10	Disminución auditiva Disminución de la estatura Disminución del coeficiente intelectual
15	Alteraciones en los niveles de vitamina D?
20	Disminución en la conducción nerviosa periférica

Datos obtenidos de CDC, 1991⁸ y ATSDR, 1993.⁹

5.3. Estimación de la dosis de exposición

De acuerdo con el método de la fase de inspección, sólo se considerará la ruta de exposición crítica o la más importante, la cual en este caso es el suelo en un área habitada. Por lo tanto, se seleccionó para el análisis la Colonia Real de Minas.

El nivel de arsénico empleado para la estimación de la exposición fue de 2.157 mg/kg, que representa el valor máximo del rango en la Colonia Real de Minas (valor de máximo riesgo). Se debe recordar que éste es un informe de inspección preliminar. Por consiguiente es necesario actuar conservadoramente, aunque ello implique sobrestimar el riesgo. En cuanto al plomo, no es aplicable el cálculo de la dosis de exposición porque no existe para este metal una dosis de referencia que se pueda utilizar para comparación. La caracterización del riesgo de plomo se realiza con los datos de plomo en la sangre, conforme se presenta más adelante.

PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

$$Dosis (mg / kg / día) = \frac{Conc. \times TI}{PC} \times FE$$

Dosis	=	dosis de exposición estimada.
Conc.	=	concentración del contaminante en el suelo = 2.157 mg/kg
TI	=	tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg/niño
PC	=	peso corporal = 25 kg/infante (6 a 9 años de edad)
FE	=	factor de exposición = 11% de biodisponibilidad. ¹⁰

$$= \frac{(2.157 \text{ mg / kg}) (350 \text{ mg / día}) (1 \times 10^{-6} \text{ kg / mg}) (0.11)}{25 \text{ kg}} = 0,0033 \text{ mg / kg / día} = \mathbf{3,3 \text{ mg/kg/día}}$$

5.4 Caracterización del riesgo no cancerígeno para arsénico

CUADRO 6. DOSIS-EFECTO PARA EXPOSICIÓN INFANTIL AL ARSÉNICO

CLASIFICACIÓN	DOSIS ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	EFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0,30	lesiones dérmicas	4
LOAEL	2,60	efectos neurológicos	7
VILLA DE LA PAZ	3,30		

1. Severidad del efecto en salud = La dosis estimada en Villa de la Paz resultó estar en el rango de la LOAEL para efectos neurológicos, los cuales son considerados serios.
2. Relación dosis estimada/RfD = $3,3 / 0,3 = 11,0$
3. Población expuesta = 200-500 niños en el área de máximo riesgo

5.5. Caracterización del riesgo no cancerígeno para plomo

Se tomó el valor más alto de plomo en suelo, registrado en la colonia vecina al depósito de residuos mineros. Con este valor se estimó el nivel de plomo en sangre, para lo cual se empleó el “Modelo Biocinético de Exposición Integral para Plomo en Niños” de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), de acuerdo con los parámetros establecidos.

- Nivel de plomo en suelo = 470 mg/kg
- Nivel estimado de plomo en sangre (media geométrica en niños de 3-6 años) = 9.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$
- Porcentaje estimado de niños con niveles superiores a 10.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ = 38.2 %

5.6. Factores asociados al riesgo

En cuanto a la nutrición, se considera que pueden existir deficiencias nutricionales porque es bajo el nivel socioeconómico de la población en el sitio de estudio. Por otro lado, se obtuvo un panorama de las enfermedades microbianas en la población infantil, mediante entrevistas con el personal médico local. La carencia de agua potable en algunas zonas fomenta las infecciones gastrointestinales. Asimismo, aparentemente los hábitos de higiene no son eficientes. Finalmente durante la visita al sitio, llamó la atención que en la Colonia Real de Minas se carece de áreas recreativas para la población infantil. Por lo tanto, los niños juegan al aire libre, en las mismas zonas donde se detectaron los mayores niveles de arsénico en suelo.

5.7. Análisis final

Los niveles en suelo y la dosis de exposición estimada indican en conjunto un alto riesgo a la salud por la exposición al arsénico. El riesgo mayor se dirigiría a los niños y el efecto probable ocurriría en el sistema nervioso central. Nuestro grupo ha demostrado la presencia de efectos neuropsicológicos en los niños vecinos a una fundición de arsénico. Estos efectos tuvieron

correlación con los niveles urinarios de arsénico y con los indicadores socioeconómicos de marginación. El posible daño neurológico también se apoya en recientes estudios experimentales, en los cuales las muestras del residuo minero mismo fueron administradas a ratas por vía oral. Los resultados indicaron daño neurológico. Por ejemplo, los niveles de dopamina en el tejido estriado del cerebro fueron menores de lo normal.

En cuanto al plomo, se concluye que no es muy alto el nivel de 470 mg/kg encontrado como máximo valor en el suelo de la Colonia Real de Minas. Esto se deduce a partir de que la mayoría de los niños expuestos tendría concentraciones de plomo en sangre por debajo del valor guía de 10.0 µg/dl. No obstante, se debe considerar que este resultado de plomo en sangre fue estimado suponiendo que la única fuente de exposición al plomo es el suelo; lo que en realidad podría ser falso. Otras fuentes de plomo para estos niños serían la inhalación de polvo minero en exteriores, la ingesta de polvo residencial, la exposición al barro vidriado, etc. Es decir, si bien es bajo el nivel de plomo en suelo de 470 mg/kg de manera aislada, en una exposición integral a varios medios contaminados podría convertirse en un nivel más relevante. En otro sentido, y suponiendo que la única fuente de exposición al plomo fuese el suelo, merece ser atendido un 38.2 % de niños con posible nivel de plomo en la sangre superior a 10,0 µg/dl.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- 6.1.1 Encontramos evidencia de contaminación en diversos medios del ambiente por varios metales pesados. Si bien el arsénico fue el metal que sirvió como guía para la inspección, también se detectaron plomo, manganeso y cobre en los residuos mineros. Asimismo, en las cercanías se encontró cadmio, níquel y cromo.
- 6.1.2 El acuífero de Matehuala es una zona de riesgo ya que cuenta con dos pozos con altos niveles de arsénico. Dicho resultado adquiere relevancia dado que este acuífero abastece de agua potable a la comunidad.
- 6.1.3 A través del Arroyo de La Paz, los contaminantes del depósito minero llegan a áreas alejadas hasta 20 km gradiente abajo. Por esta vía se ha contaminado el suelo en el ejido La Carbonera y en el agua del estanque del poblado Cerrito Blanco.
- 6.1.4 El sitio de mayor riesgo es la zona residencial, ubicada en las cercanías al depósito de residuos mineros. En este sitio denominado Colonia Real de Minas, se registró contaminación por arsénico en el suelo. Los máximos valores se encontraron en las zonas de recreación infantil.
- 6.1.5 Tomando los niveles de arsénico y plomo encontrados en la Colonia Real de Minas, se determinó que el nivel de contaminación representa un riesgo en salud. La dosis estimada para arsénico se calculó en niveles 11 veces superiores a la dosis de referencia. En tanto, los niveles de plomo en la sangre estimados mediante modelaje biocinético, resultaron superiores al valor guía de 10.0 µg/dl para el 38.2% de los niños. El riesgo de daño neurológico debe ser atendido por las autoridades de salud del área.

6.2. Recomendaciones

- 6.2.1 En el corto plazo debe realizarse un estudio ambiental más detallado. Dicho análisis debe incluir el monitoreo completo y representativo de todos los medios del ambiente. Asimismo, debe considerar todos los metales tóxicos detectados en el residuo minero. Es necesario valorar la presencia de mercurio (metal abundante en áreas mineras).

- 6.2.2 Es perentorio realizar una evaluación de la exposición al arsénico y al plomo entre los niños que habitan la Colonia Real de Minas. De ser posible, dicha evaluación debería incluir un estudio neurológico.
- 6.2.3 Como programas ambientales preventivos inmediatos, es necesario colocar barreras alrededor del depósito minero y del agua almacenada en Cerrito Blanco.
- 6.2.4 Se deben iniciar los estudios de factibilidad para la restauración del sitio. El plan de restauración deberá incluir la planta de beneficio, el depósito de residuos mineros, los suelos contaminados, el Arroyo de la Paz y el Estanque en Cerrito Blanco. También se debería analizar el uso del residuo empleado como material de construcción de viviendas.
- 6.2.5 Es importante iniciar un programa educativo entre los escolares y padres de familia, a fin de dar a conocer la problemática ambiental. A través de este programa, se invitaría a los participantes a tomar acciones para disminuir la exposición a los metales pesados.
- 6.2.6 Los personales médicos de Villa de La Paz y de Matehuala deberían impartir un programa de capacitación sobre toxicología de metales. Dicha actividad tendría como objetivo capacitar a médicos y enfermeras en el diagnóstico y tratamiento de los padecimientos relacionados con la exposición a metales.

7. Calificación del sitio

7.1 Antecedentes del sitio

7.1.1 Poblaciones cercanas al sitio (multiplique distancia x tamaño) = 6 PUNTOS

Distancia al sitio:	0 -1500 m	3 puntos
Tamaño:	mil -10 mil	2 puntos

7.1.2 ¿Existe preocupación social? = 2 puntos

Sí.	2 puntos
-----	----------

7.1.3 Tipos de contaminantes en el sitio = 2 puntos

Inorgánicos:	1 punto
Microbiológicos:	1 punto

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 10 PUNTOS

7.2 Contaminación ambiental

7.2.1 Análisis preliminar de la contaminación = 20 puntos

Evidencia positiva de contaminación dentro del sitio: 5 puntos

Evidencia positiva de contaminación fuera del sitio: 5 puntos

Buen control de calidad y confiabilidad de las muestras: 5 puntos

Se pudo definir la presencia de contaminantes críticos: 5 puntos

7.2.2 Toxicidad del arsénico (contaminante más significativo) = 4 PUNTOS

Toxicidad severa: 4 puntos

7.2.3 Persistencia del arsénico = 4 puntos

Altamente persistente: 4 puntos

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 28 PUNTOS

7.3 Rutas de exposición

7.3.1 Medio ambiental impactado

Suelo (*colonia Real de Minas*): 2 puntos Aire (*polvos del depósito*): 3 puntos

Agua Superficial (*Arroyo La Paz*): 2 puntos Agua Subterránea (*Matehuala*) 4 puntos

Otro : (*polvo residencial*): 2 puntos

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 13 PUNTOS

7.4 Caracterización preliminar del riesgo

7.4.1 Riesgo no cancerígeno

Cociente Dosis de Exposición / RfD = 10 -100 8 puntos

7.4.2 Severidad del efecto (para este caso, lesiones dérmicas o daño neurológico)

Efecto serio = 2 puntos

(1) Riesgo x (2) Severidad = 8 x 2 = 16 puntos

7.4.3 Factores asociados al riesgo

Marginación media = 5 puntos

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 21 PUNTOS

7.5 Calificación total del sitio

Antecedentes del sitio	=	10	puntos
Contaminación ambiental	=	28	puntos
Rutas de exposición	=	13	puntos
Caracterización preliminar del riesgo	=	21	puntos
TOTAL DE PUNTOS	=	72	puntos

CALIFICACIÓN DEL SITIO
VILLA DE LA PAZ - MATEHUALA
(72 PUNTOS)

RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA
*EL SITIO REQUIERE LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN
LOS RESULTADOS DE DICHO ANÁLISIS DETERMINARÁN
LA TEMPORALIDAD DE LA RESTAURACIÓN*

8. Bibliografía

1. ATSDR (1994). Environmental data needed for public health assessments. A Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
2. OMS (1995). Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, p. 180.
3. Madhavan S, Rosenman KD y Shehata T (1989). Lead in soil: recommended maximum permissible levels. *Env. Res.* 49: 136-142.
4. EPA (1992). Second draft for the drinking water criteria document on arsenic. U.S. Environmental Protection Agency.
5. ATSDR (1992). Health assessment guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health & Human Services.
6. Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997). Evaluación del riesgo en sitios contaminados con plomo aplicando un modelo de exposición integral (IEUBK). En: Evaluación de riesgos para la salud en la población expuesta a metales en Bolivia (Díaz-Barriga F, ed.) Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OPS/OMS. pp. A-1 a A-17.
7. Calderón J, Navarro ME, Jiménez-Capdeville ME y Díaz-Barriga F (1998). Neurobehavioral effects among children exposed chronically to arsenic, cadmium and lead. 3rd International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects. San Diego, Estados Unidos.
8. CDC (1991). Preventing lead poisoning in young children. Centers for Disease Control US Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
9. ATSDR (1993). Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
10. Freeman GB, Schoof RA, Ruby MV, Davis AO, Dill JA, Liao SC, Lapin CA y Bergstrom PD (1995). Bioavailability of arsenic in soil and house dust impacted by smelter activities following oral administration in *Cynomolgus* monkeys. *Fund. Appl. Toxicol.* 28: 215-222.
11. USEPA (1994). Guidance manual for the integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children. Technical Review Workgroup for Lead. Office of Emergency and Remedial Response. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N.C.
12. Rodríguez VM, Dufour L, Carrizales L, Díaz-Barriga F y Jimenez-Capdeville ME (1998). Effects of oral exposure to a mining waste on in vivo dopamine release from rat stratum. *Environmental Health Perspectives*. En prensa.

ANEXO 4: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN EN SITIOS PELIGROSOS

ZONA MINERA DE VILLA DE LA PAZ - MATEHUALA

Jesús Mejía, Leticia Carrizales y Fernando Díaz Barriga

1. Antecedentes

La sección de evaluación de exposición en sitios peligrosos se debería iniciar con una secuencia detallada de la visita al sitio, la que a su vez, incluya la información completa del lugar. En el presente caso esta fase no se realizó de acuerdo al manual porque no se consideró necesario. Más importante era realizar el estudio de biomarcadores de exposición para plomo y arsénico.

Asimismo, se completó el análisis ambiental con algunas muestras en suelo y polvo colectadas en la Colonia Real de Minas y en Villa de la Paz (en el estudio de la fase de inspección se identifica la localización de estas dos comunidades). La situación del acuífero se atendió a través de análisis de arsénico en agua, efectuado en muestras de agua doméstica (grifo) en la Ciudad de Matehuala.

La fase de evaluación de la exposición se realizó desde el segundo semestre de 1997 hasta el primer semestre de 1998, un año después del trabajo correspondiente a la fase de inspección preliminar.

1.1. Puntos de exposición

- ◆ *Suelo.* En Villa de la Paz y en la Colonia Real de Minas, el suelo podría estar contaminado por las actividades mineras (en la primera comunidad por las operaciones de la planta de beneficio y en la segunda por el depósito de residuos mineros). En ambas comunidades, los puntos de recreación infantil continúan sin cubierta vegetal y numerosas calles continúan con el pavimento desgastado. Existen dos centros escolares de educación preescolar. Ambos se ubican en puntos de alto riesgo, uno a menos de 100 metros de la planta de beneficio y otro a 300 metros del depósito de residuos mineros.
- ◆ *Polvo residencial.* En Villa de la Paz y en la Colonia Real de Minas, la población mantuvo su queja sobre la entrada de polvos mineros al hogar. El último año fue particularmente seco y los polvos acarreados por los vientos causaron mayores malestares. Al descubrirse que los residuos mineros fueron utilizados para la construcción de algunas viviendas, se realizaron estudios con una prueba rápida y en 100% de las viviendas estudiadas en la Colonia Real de Minas, se encontraron trazas de plomo en la pared.
- ◆ *Acuífero.* El acuífero que abastece a las Ciudades de Villa de la Paz, Cedral y Matehuala es el mismo de donde se surten los pozos altamente contaminados con arsénico que encontramos en la fase de inspección preliminar. Sin embargo, aparentemente la zona de pozos que abastece de agua potable a estas comunidades, se ubicaría gradiente arriba del punto de contaminación. Persiste la necesidad de vigilar la calidad de este cuerpo de agua.

2. Contaminación ambiental

2.1. Muestreo ambiental

El muestreo consideró el procedimiento del Manual de Muestreo Ambiental, publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)¹. A continuación se expone el diseño seguido en cada uno de los puntos de exposición.

- ◆ *Polvo.* En la Colonia Real de Minas se colectaron seis muestras de polvo y 12 en Villa de la Paz. El polvo se tomó del interior de las viviendas. Para ello, se utilizó una brocha con la que se “limpiaron” pisos, paredes, ventanas y juguetes de los niños. Se obtuvo una muestra combinada de cada vivienda visitada.
- ◆ *Suelo.* En la Colonia Real de Minas se tomaron tres muestras de suelo superficial y en Villa de la Paz se colectaron nueve. Se trabajó con suelo superficial tomado de las áreas de mayor riesgo para la población infantil (áreas de recreación).
- ◆ *Acuífero.* Se colectaron muestras de agua a partir de grifos domiciliarios de la Ciudad de Matehuala. El agua distribuida en esta ciudad proviene del área de pozos, ubicada gradiente arriba de los dos pozos contaminados que registramos en la fase de Inspección.

Las muestras de suelo y polvo se colectaron y transportaron en bolsas plásticas estériles. En el laboratorio se procedió a su secado y de inmediato fueron digeridas para su análisis. Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos lavados con ácido nítrico a 10.0%. Después de la colecta, las muestras fueron acidificadas con nítrico concentrado y transportadas bajo refrigeración. En el laboratorio se mantuvieron a 4°C hasta su análisis.

2.2. Análisis ambiental

- ◆ *Método.* Los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico y con horno de grafito o flama para plomo y manganeso. Las muestras de agua fueron digeridas con una mezcla de nítrico-perclórico (3.0:0.5). Las muestras de suelo y polvo fueron digeridas con horno de microondas utilizando nítrico a 25.0%.
- ◆ *Control de calidad.* Se efectuaron análisis de estándares certificados. Para suelo se utilizó el estándar NIST-SRM 2710 (Montana soil), con lo que se obtuvo una recuperación superior al 92% para todos los metales. Para agua se utilizó un estándar de la EPA con una recuperación para arsénico superior a 94%.

2.3. Resultados

- ◆ *Suelo.* En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los monitoreos de arsénico, plomo y manganeso en suelo superficial del área urbana de Villa de la Paz y de la Colonia Real de Minas. Considerando los niveles de referencia apuntados al pie del Cuadro 1, se definió que el arsénico y el plomo se encuentran en niveles de alto riesgo para la salud pública, en tanto que el manganeso implica un menor riesgo. Por ejemplo, en ambas comunidades, el máximo valor de arsénico se encontró 378 veces por arriba de su EMEG y el máximo de plomo se encontró 16 veces por arriba de su valor de referencia. El máximo de manganeso solamente fue cuatro veces superior a su referencia.

Los datos de manganeso y arsénico fueron similares entre Villa de la Paz y la Colonia Real de Minas. Sin embargo, los valores de plomo fueron notoriamente superiores en Villa de la Paz. Es probable que la diferencia se deba a que sea eficiente el proceso para el beneficio del plomo dentro de la planta minera, lo cual permitiría encontrar bajos niveles de plomo en los residuos (Cuadro 1 de la fase de inspección). En tanto, dado que el arsénico no es un metaloide recuperado por la planta beneficiadora, mantendrá sus niveles tanto en la planta y en los residuos. La planta de beneficio en Villa de la Paz y el depósito de los residuos en Colonia Real de Minas son la principal fuente de contaminación. La planta contaminaría por arsénico y plomo, en tanto que los residuos principalmente impactarían el ambiente con arsénico.

CUADRO 1. CONTENIDO DE METALES EN MUESTRAS DE SUELO SUPERFICIAL

ÁREA	METALES	n	MEDIA	D. E.	RANGO
VILLA DE LA PAZ	Plomo	9	2399	1046	633 - 4013
	Arsénico	9	2904	2261	875 - 8100
	Manganeso	9	828	262	510 - 1207
COL. REAL DE MINAS	Plomo	3	309	84	215 - 370
	Arsénico	3	2390	249	2215-2675
	Manganeso	3	1002	130	857 - 1106

Guía de referencia de ATSDR para manganeso en suelo = 300 mg/kg (datos para población infantil).²

Guía de referencia para plomo en suelo = 250 mg/kg.³

EMEG para arsénico en suelo = 21,4 (estimado en la sección de la fase de inspección).

◆ Polvo. En general las concentraciones de los metales en polvo se mantuvieron en el rango de los niveles en suelo. Es probable que el arsénico en la Colonia Real de Minas haya sido ligeramente superior en polvo con respecto a los valores en suelo (Cuadro 2). La diferencia entre Villa de la Paz y la Colonia se mantuvo, con mayor presencia de plomo en la primera comunidad.

Llama la atención que en la Colonia los niveles de plomo encontrados en polvo, fueron similares a los registrados en suelo. Se esperaban mayores niveles en polvo, porque las viviendas estaban construidas con residuos. Por lo tanto, aparentemente la capa de pintura puesta sobre el material arenoso, de alguna manera está actuando como protección para evitar que dicho material sea constituyente del polvo doméstico y que implique un riesgo.

CUADRO 2. CONTENIDO DE METALES EN MUESTRAS DE POLVO CASERO

ÁREA	METALES	n	MEDIA	D. E.	RANGO
VILLA DE LA PAZ	Plomo	12	1824	1260	555 - 5190
	Arsénico	12	2045	1117	352 - 4050
	Manganeso	12	619	232	238 - 1070
COL. REAL DE MINAS	Plomo	6	417	221	220 - 778
	Arsénico	6	4960	3318	1780-9950
	Manganeso	6	928	185	780 - 1250

♦ *Agua.* El agua obtenida en los grifos domésticos de Matehuala y Villa de la Paz, en ningún momento superó los 20 µg/L de arsénico y la mayoría estuvo en el rango de los 10,0 µg/L (nivel de la recomendación de la Organización Mundial de la Salud).⁴ Esto significaría que la contaminación registrada al oeste del acuífero, todavía no alcanza la zona de pozos ubicada gradiente arriba y al este del área contaminada. No obstante, debido a la sobreexplotación que se está dando en la zona de pozos, se podría generar un cono de abatimiento y la contaminación podría llegar fácilmente al área de pozos.

3. Selección de contaminantes críticos

Debido a que el arsénico y el plomo superaron los niveles en el suelo y dado que sus concentraciones en polvo se mantuvieron altas, estos contaminantes permanecen con la clasificación de críticos. Se decidió no seleccionar el magnesio porque apenas superó su criterio de referencia y por su baja capacidad de absorción. El cálculo de la EMEG para arsénico fue tomado del informe correspondiente a la inspección preliminar (recordar que no puede haber EMEG para plomo dado que este metal carece de dosis de referencia).

♦ *Arsénico en el suelo*

$$EMEG_{\text{SUELO}} = \frac{0,0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{0,00035 \text{ (kg/día)}} = \frac{0,0075 \text{ (mg / día)}}{0,00035 \text{ (kg / día)}} = 21,4 \text{ mg / kg}$$

♦ *Arsénico en el agua*

$$EMEG_{\text{AGUA}} = \frac{0,0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{1,0 \text{ (L/día)}} = \frac{0,0075 \text{ (mg / día)}}{1,0 \text{ (L / día)}} = 0,0075 \text{ mg / L} = 7,5 \text{ } \mu\text{g / L}$$

4. Análisis preliminar de las rutas de exposición

CUADRO 3. RUTAS DE EXPOSICIÓN

NOMBRE DE LA RUTA	FUENTE	MEDIO DEL AMBIENTE	PUNTO DE EXPOSICIÓN	POBLACIÓN RECEPTORA	PASADA, PRESENTE o FUTURA	COMPLETA O POTENCIAL
Suelo	depósito planta beneficiada	suelo superficial	áreas de recreación	niños	presente	completa
Polvo	depósito planta beneficiada	polvo doméstico	vivienda	niños	presente	completa
Agua *	Acuífero subterráneo	agua	estanque de Cerrito Blanco	niños	presente	completa
Acuífero	arroyo La Paz	agua	grifos	todas las comunidades	futura	potencial
Partículas **	depósito planta beneficiada	aire	comunidad	todos los miembros	presente	potencial

Algunas de las fuentes son el depósito de residuos mineros, ubicado frente a la Colonia Real de Minas y la planta de beneficio, localizada en la comunidad de Villa de la Paz.

(*) La ruta de agua fue evaluada durante la fase de Inspección.

(**) La ruta de partículas no ha sido evaluada, por lo que se define como potencial.

5. Estimación preliminar del riesgo

5.1 Identificación del contaminante

La identificación del contaminante se efectuó durante el análisis correspondiente a la fase de inspección preliminar.

5.2. Análisis dosis-respuesta

El arsénico es un elemento cancerígeno. Sin embargo, para nuestro análisis hemos seleccionado a los niños como el grupo de alto riesgo. Por lo tanto, la discusión se centrará en los efectos no cancerígenos de este contaminante y no se realizará la caracterización del riesgo cancerígeno.

CUADRO 4. DOSIS-EFECTO PARA EXPOSICIÓN INFANTIL AL ARSÉNICO

CLASIFICACIÓN DOSIS ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)		EFFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0,30	lesiones dérmicas	5
LOAEL*	2,60	efectos neurológicos	6

(*) estudio en niños de 25 kg de peso.

CUADRO 5. EFECTOS DEL PLOMO EN NIÑOS EN RELACIÓN AL NIVEL DE PLOMO EN SANGRE

Plomo en sangre ($\mu\text{g} / \text{dl}$)	Efecto
10	* Disminución auditiva * Disminución de la estatura * Disminución del coeficiente intelectual
15	* ¿Alteraciones en los niveles de vitamina D?
20	* Disminución en la conducción nerviosa periférica

Datos obtenidos de CDC, 1991⁷ y ATSDR, 1993.⁸

5.3. Estimación de la dosis de exposición

El nivel de arsénico en suelo empleado para la estimación de la exposición, fue de 2.904 mg/kg. Este nivel es el valor promedio de Villa de la Paz, pero engloba a los niveles de arsénico de la Colonia Real de Minas y es representativo de Villa de la Paz, de acuerdo con los niveles individuales de las nueve muestras analizadas en dicha comunidad. El valor de arsénico en polvo fue 2.045 mg/kg (nivel promedio en Villa de la Paz) y el nivel de arsénico en agua fue de 14 $\mu\text{g}/\text{L}$, que es el nivel encontrado en este poblado. Como ahora se cuenta con los datos reales de plomo en sangre, la caracterización del riesgo no consideró el modelaje con el IEUBK (ver resultados de esta sección en el informe de la fase de Inspección).

ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POR SUELO

$$Dosis (mg / kg / día) = \frac{Conc. \times TI}{PC} \times FE$$

Dosis	=	dosis de exposición estimada
Conc.	=	concentración del contaminante en el suelo = 2.904 mg/kg
TI	=	tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg niño ⁹
PC	=	peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad)
FE	=	factor de exposición = 11% de biodisponibilidad ¹⁰

$$= \frac{(2.904 \text{ mg / kg})(350 \text{ mg / día})(1 \times 10^{-6} \text{ kg / mg})(0,11)}{25 \text{ kg}} = 0,0044 \text{ mg / kg / día} = \mathbf{4,4 \mu\text{g/kg/día}}$$

ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POR POLVO

$$Dosis (mg / kg / día) = \frac{Conc. \times TI}{PC} \times FE$$

Dosis	=	dosis de exposición estimada
Conc.	=	concentración del contaminante en el polvo = 2.045 mg/kg
TI	=	tasa de ingestión diaria de polvo = 35 mg niño ⁹
PC	=	peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad)
FE	=	factor de exposición = 11% de biodisponibilidad ¹⁰

$$= \frac{(2.045 \text{ mg / kg})(35 \text{ mg / día})(1 \times 10^{-6} \text{ kg / mg})(0,11)}{25 \text{ kg}} = 0,0003 \text{ mg / kg / día} = \mathbf{0,3 \mu\text{g/kg/día}}$$

ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN POR AGUA

$$Dosis (mg / kg / día) = \frac{Conc. \times TI}{PC} \times FE$$

Dosis = dosis de exposición estimada
Conc. = concentración del contaminante en el agua = 14 µg/L
TI = tasa de ingestión diaria de agua = 1 L/día
PC = peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad)

$$= \frac{(0,014 \text{ mg / L}) (1 \text{ L / día})}{25 \text{ kg}} = 0,0005 \text{ mg / kg / día} = \mathbf{0,51 \text{ g/kg/día}}$$

5.4. Estimación de la dosis total de exposición

Suelo= 4,4 µg/kg/día
 Polvo= 0,3 µg/kg/día
 Agua = 0,5 µg/kg/día
Total = 5,2 µg/kg/día

5.5. Caracterización del riesgo no cancerígeno para arsénico

CUADRO 6. DOSIS-EFECTO PARA EXPOSICIÓN INFANTIL AL ARSÉNICO

CLASIFICACIÓN	DOSIS (µg/kg/día)	EFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0,30	lesiones dérmicas	5
LOAEL *	2,60	efectos neurológicos	6
VILLA DE LA PAZ	5,20		

(*) Estudio en niños de 25 kg de peso.

1. Severidad del efecto en salud = La dosis estimada en Villa de la Paz resultó estar en el rango de la LOAEL para efectos neurológicos, los cuales son considerados serios.
2. Relación dosis estimada/RfD = $5.2 / 0.3 = 17.3$
3. Población expuesta = > 500 niños en el área de máximo riesgo.

5.6 Factores asociados al riesgo

Se mantiene el marco definido en la fase de inspección. En cuanto a la nutrición, se considera que pueden existir deficiencias nutricionales debido a que es bajo el nivel socioeconómico de la población en el sitio de estudio. Por otro lado, se obtuvo un panorama de las enfermedades microbianas en la población infantil, mediante entrevistas con el personal médico local. La carencia de agua potable en algunas zonas fomenta la aparición de infecciones gastrointestinales. Asimismo, los hábitos de higiene no parecen ser eficientes. Finalmente, durante la visita al sitio llamó la atención que en la Colonia Real de Minas se carece de áreas recreativas para la población infantil. Por lo tanto, los niños juegan al aire libre, en las zonas donde se detectaron los mayores niveles de arsénico en suelo.

5.7. Análisis final

Los niveles en suelo, polvo y agua permiten definir un escenario donde el niño se expone a concentraciones variables de arsénico, a través de su contacto con los diversos medios del ambiente. Los niveles acumulados permiten estimar una dosis de exposición global que es aproximadamente 17 veces superior a la dosis de referencia. Considerando este resultado y la exposición simultánea al plomo, podemos asumir la existencia de riesgo neurológico. Nuestro grupo ha definido cambios neuroconductuales en niños expuestos al arsénico⁶ y a nivel experimental se ha registrado que los residuos mineros son neurotóxicos.¹¹ Asimismo, se ha demostrado que una interacción entre el arsénico y el plomo podría ser más neurotóxica que sus efectos por separado.¹²

6. Biomarcadores de exposición al arsénico y al plomo

6.1. Selección de los niños

Los niños estudiados fueron aquéllos cuyos padres autorizaron la toma de muestras (sangre venosa y orina). Los niños eran de 3 a 6 años de edad y asistían a los dos únicos centros preescolares de Villa de la Paz. Se colectaron muestras de la primera orina del día en frascos lavados con ácido nítrico diluido y las muestras de sangre se tomaron empleando “viales” libres de plomo en presencia de EDTA como anticoagulante.

6.2. Análisis biológico

- ◆ *Método.* Los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico y con horno de grafito para plomo. Las muestras de orina fueron digeridas con una mezcla de nítrico-perclórico-sulfúrico (3 ml / 0,5 ml / 0,5 ml). La sangre fue tratada con fosfato de amonio como modificador de matriz y con Tritón X-100 al 0,5 % como digestor celular. Los análisis se efectuaron por duplicado independiente. El material analítico y de colecta se lavó con una solución de ácido nítrico al 10%, enjuagando con agua desionizada antes de su uso.

- ◆ *Control de calidad.* Para arsénico en orina se efectuaron análisis de un estándar certificado (NIST-SRM 2670), para lo cual se obtuvo una recuperación del $108,5 \pm 9,6\%$. En cuanto al control de plomo en sangre, nuestro laboratorio se encuentra enrolado en el programa de calibración del Centro para el Control de las Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos.

6.3. Resultados

- ◆ *Plomo en sangre.* En el Cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos del estudio de 175 niños de Villa de la Paz. Puede advertirse que los niños provenientes del centro preescolar ubicado en el poblado mismo de Villa de la Paz (Kinder 1), tuvieron mayores niveles de plomo en sangre, en comparación con los niños del centro preescolar ubicado en la Colonia Real de Minas (Kinder 2). Más importante aún es que en el Kinder 1 registramos un mayor porcentaje de niños cuyos valores de plomo en sangre superaron los 15 µg/dl. El que haya mas plomo en el Kinder 1 coincide con los datos de plomo en suelo. En Villa de la Paz se encontraron mayores concentraciones de plomo en suelo, en comparación con la Colonia Real de Minas.
- ◆ *Arsénico en orina.* En el Cuadro 8 se presentan los datos obtenidos del estudio de 112 niños de Villa de la Paz. No se tuvo el mismo número de niños que en el caso de plomo en sangre, porque no todos entregaron sus muestras de orina. Se puede advertir que fue mínima la diferencia en la concentración media de arsénico en orina, entre los niños de ambos centros preescolares. Sin embargo, el porcentaje de niños con niveles mayores a 50 µg/g creatinina y 100 µg/g creatinina sí fue superior en el Kinder 1. Curiosamente, los niveles de arsénico en suelo no fueron muy distintos entre el poblado de Villa de la Paz y la Colonia Real de Minas, aunque sí se registraron las mayores concentraciones en Villa de la Paz.

CUADRO 7. NIVELES DE PLOMO EN SANGRE EN NIÑOS DE LA VILLA DE LA PAZ (µg/dl)

	N	MEDIA	D.E.	RANGO	porcentaje > 10 µg/dl	porcentaje > 15 µg/dl	porcentaje > 20 µg/dl
Kinder 1	68	11.6	4.7	3.0 - 25.0	54.4	22.1	2.9
Kinder 2	107	7.2	3.5	1.7 – 20.6	16.8	2.8	0.9
Total	175	8.9	4.6	1.7 - 25.0	31.4	10.9	1.7

n (número de niños estudiados).

Media (media aritmética).

D.E. (desviación estándar).

Kinder 1 (José Cerrillo, ubicado en la cabecera municipal). Kinder 2 (Alfaro Siqueiros, ubicado en la colonia Real de Minas).

Total (los datos incluyen a todos los niños).

Valor normal de plomo en sangre: Menor a 10 µg/dl.

Valor para la acción ambiental (vigilancia de fuentes contaminantes): Mayor a 15 µg/dl.

Valor para la acción médica: Mayor de 25 µg/dl

**CUADRO 8. NIVELES DE ARSÉNICO EN ORINA EN NIÑOS DE LA VILLA DE LA PAZ
($\mu\text{g/g}$ creatinina)**

	N	MEDIA	D.E.	RANGO	porcentaje > 50 $\mu\text{g/gc}^*$	porcentaje >100 $\mu\text{g/gc}^*$
Kinder 1	62	76.2	2.0	18.8 - 497.7	87	66
Kinder 2	50	63.9	1.9	17.7 - 248.7	31	24
Total	112	70.5	1.9	17.7 - 497.7	71	28

n (número de niños estudiados).

Media (media aritmética). D.E. (desviación estándar).

* $\mu\text{g/gc}$ ($\mu\text{g/g}$ creatinina).

Kinder 1 (José Cerrillo, ubicado en la cabecera municipal).

Kinder 2 (Alfaro Siqueiros, ubicado en la colonia Real de Minas).

Total (los datos incluyen a todos los niños).

Valor normal de arsénico en orina para niños no expuestos: menor a 50 $\mu\text{g/g}$ creatinina.

Valor anormal de arsénico en orina para niños: mayor a 100 $\mu\text{g/g}$ creatinina.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- 7.1.1 Encontramos evidencia de contaminación en suelo y polvo. En suelo por arsénico, plomo y manganeso. En polvo por arsénico y plomo. La contaminación en suelo por plomo se presentó en mayores niveles en la comunidad de Villa de la Paz. En tanto, la de arsénico en polvo se registró mayormente en la Colonia Real de Minas. Las concentraciones de arsénico en suelo en ambas zonas fueron similares, posiblemente porque la planta de beneficio contamina con plomo y con arsénico, en tanto los residuos sólo serían fuente de contaminación para arsénico. Los residuos tienen menos plomo porque son recuperados en la planta de beneficio. La planta es la principal fuente contaminante para la comunidad de Villa de la Paz y los residuos son la fuente primaria para la Colonia Real de Minas. Los mayores niveles de arsénico en polvo en las viviendas de la Colonia Real de Minas, pueden reflejar el hecho de que para la construcción de éstas se utilizaron residuos mineros. Otra explicación sería que los vientos transportan el material desde el depósito de los residuos hasta el interior de las viviendas.
- 7.1.2 El acuífero de Matehuala es una zona de riesgo ya que dos de sus pozos tienen altos niveles de arsénico. Esta conclusión no se modifica ahora que se registran concentraciones normales de arsénico en la red municipal de esta ciudad. El resultado solamente indicaría que la zona de pozos, de donde Matehuala toma su agua, todavía no está impactada por arsénico.
- 7.1.3 Las rutas de exposición identificadas son la ingesta de suelo en áreas de recreación infantil y la ingesta de polvo al interior de las viviendas. No se evaluó la ruta de inhalación y/o ingesta de partículas suspendidas en el aire, pero existe una alta probabilidad de que esta ruta sea muy importante, sobre todo para la Colonia Real de Minas en época de estiaje. La ruta de agua por la contaminación del acuífero se deja como una futura ruta. Es probable que el acuífero de Matehuala se contamine, de no tomarse medidas inmediatas de restauración.

- 7.1.4 La dosis de exposición a arsénico calculada para la población infantil, resultó ser 17 veces superior a la dosis de seguridad, lo cual indica un claro riesgo de exposición
- 7.1.5 La exposición al arsénico se confirmó con los datos del biomonitoreo. Aunque no hubo una diferencia clara entre la comunidad de Villa de la Paz y la Colonia Real de Minas, en ambos lugares el promedio de arsénico en orina superó los 50 µg/g creatinina que representa el valor normal. Además, en la comunidad de Villa de la Paz 66% de los niños estudiados superaron la concentración de 100 µg/g creatinina (nivel anormal de arsénico urinario).
- 7.1.6 Los niños de la comunidad de Villa de la Paz registraron mayores valores de plomo en sangre que los niños de la Colonia Real de Minas. Además, 22% de los niños de Villa La Paz superaron los 15 µg/dl de plomo sanguíneo (valor definido como de riesgo en salud).
- 7.1.7 Los niños de Villa de la Paz y de la Colonia Real de Minas tienen un riesgo de daño neurológico. En primer lugar, hemos demostrado que los residuos son neurotóxicos. En segundo término, la dosis de exposición al arsénico estimada para los niños de estos lugares, es mayor que la estimada para niños de una zona metalúrgica en los cuales encontramos daño neuropsicológico asociado al arsénico. En tercer término, el arsénico y el plomo son neurotóxicos y los niños presentaron altos niveles de exposición a ambos metales.

7.2. Recomendaciones

- 7.2.1 De inmediato deben iniciarse los programas para la restauración ambiental del sitio. Dicho programa deberá incluir la planta de beneficio y el depósito de residuos mineros.
- 7.2.2 Se debe vigilar el acuífero de Matehuala. Por consiguiente, se deberán realizar monitoreos ambientales de arsénico una vez por año. Paralelamente se deberían efectuar estudios para generar medidas de explotación racional, de modo que la zona de pozos no se contamine con el metaloide.
- 7.2.3 En el corto plazo se deberá establecer un estudio para definir el daño ocasionado por los metales en la población infantil. Dentro de este estudio se incluiría el daño por radicales libres, la evaluación de la apoptosis y sobre todo el daño neuropsicológico.
- 7.2.4 Se deberán establecer tres tipos de programas educativos. Uno médico para que el personal de la salud se entere de los riesgos ocasionados por arsénico y plomo. Otro programa entre los infantes para que aprendan a no exponerse a los metales (por ejemplo que laven sus manos, limpien sus juguetes y no coman tierra). Finalmente, un tercer programa en el sector educativo para reforzar las actividades que incidan en la posible deficiencia en el aprendizaje a causa del plomo.

8. Bibliografía

1. ATSDR (1994). Environmental data needed for public health assessments. A guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
2. ATSDR (1992). Health assessment guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health & Human Services. Lista de valores para las guías ambientales de evaluación, suelo.

3. Madhavan S, Rosenman KD y Shehata T (1989). Lead in soil: recommended maximum permissible levels. *Env. Res.* 49: 136-142.
4. OMS (1995). Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, p. 180.
5. EPA (1992). Second draft for the drinking water criteria document on arsenic. U.S. Environmental Protection Agency.
6. Calderón J, Navarro ME, Jiménez-Capdeville ME y Díaz-Barriga F (1998). Neurobehavioral effects among children exposed chronically to arsenic, cadmium and lead. 3rd International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects. San Diego, Estados Unidos.
7. CDC (1991). Preventing lead poisoning in young children. Centers for Disease Control US Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
8. ATSDR (1993). Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
9. Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997). Evaluación del riesgo en sitios contaminados con plomo aplicando un modelo de exposición integral (IEUBK). En: Evaluación de riesgos para la salud en la población expuesta a metales en Bolivia (Díaz-Barriga F, ed.). Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OPS/OMS. pp. A-1 a A-17.
10. Freeman GB, Schoof RA, Ruby MV, Davis AO, Dill JA, Liao SC, Lapin CA y Bergstrom PD (1995). Bioavailability of arsenic in soil and house dust impacted by smelter activities following oral administration in *Cynomolgus* monkeys. *Fund. Appl. Toxicol.* 28: 215-222.
11. Rodríguez VM, Dufour L, Carrizales L, Díaz-Barriga F y Jiménez-Capdeville ME (1998). Effects of oral exposure to a mining waste on in vivo dopamine release from rat striatum. *Environmental Health Perspectives*. En prensa.
12. Mejía JJ, Díaz-Barriga F, Calderón J, Ríos C y Jiménez-Capdeville ME (1997). Effects of lead-arsenic combined exposure on central monoaminergic systems. *Neurotoxicology and teratology* 19: 489 - 497.